



Rui Pedro Rossa Messias

Licenciado em Ciências de Engenharia e Gestão Industrial

A eficácia das luvas anti-vibratórias no amortecimento das vibrações transmitidas ao punho

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre
em Engenharia e Gestão Industrial

Orientador: Professor Doutor José Martin Miquel Cabeças

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Rogério Salema de Araújo Puga Leal

Arguente: Prof. Doutor Rui Miguel Bettencourt Melo

Vogal 1: Prof. Doutora Isabel Maria do Nascimento Lopes Nunes

Vogal 2: Prof. Doutor José Martin Miquel Cabeças

“Copyright” Rui Pedro Rossa Messias, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Este espaço é dedicado àqueles que deram a sua contribuição para que esta dissertação fosse realizada. A todos eles deixo aqui o meu agradecimento sincero.

Em primeiro lugar agradeço ao Professor José Miquel Cabeças, do Departamento de Engenharia e Gestão Industrial (DEMI) do qual sou aluno, por acreditar em mim e aceitar-me como orientando. Foi sem dúvida um enorme privilégio. Agradeço a sua dedicação notável no acompanhamento deste estudo, a forma empenhada, ativa e profissional como sempre conduziu esta investigação; as suas competências científicas evidenciadas; a sua total disponibilidade e prontidão na ajuda à resolução dos problemas que foram surgindo e na realização dos ensaios laboratoriais; o seu incentivo, principalmente na fase final do trabalho. Não tenho palavras para agradecer as horas que me recebeu, em horário pós-laboral, lendo e acompanhado o meu trabalho passo a passo, o meu sincero obrigado.

Agradeço à Universidade Nova de Lisboa por providenciar o apoio financeiro para a realização deste estudo e ao laboratório de Ergonomia por criar as condições necessárias para a realização dos ensaios.

Uma palavra muito especial a todos os meus colegas e amigos que, voluntariamente, concederam muito do seu tempo para serem os operadores deste estudo, participando ativamente nos diversos ensaios experimentais. Proporcionaram momentos de trabalho bastante agradáveis, trazendo consigo uma imensa boa disposição, sem no entanto, meter em causa a seriedade e profissionalismo do trabalho.

Aos meus pais, à minha tia e aos meus avós, um enorme obrigado por acreditarem sempre em mim e naquilo que faço e por todos os ensinamentos de vida. Espero que esta etapa, que agora termino, possa, de alguma forma, retribuir e compensar todo o esforço, carinho, apoio e dedicação que, constantemente, me ofereceram. A eles, dedico todo este trabalho.

Agradeço ao Velosa e ao Mestrinho que me incentivaram e que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização deste projeto.

Por último, agradeço ao Bernardo Roque que me acompanhou em todo o percurso académico

e que acabou por revelar ser um grande, grande amigo.

A todos aqueles aqui citados, e a outros, que mais direta ou indiretamente também me ajudaram a finalizar esta dissertação o meu muito e sincero obrigado.

Resumo

As luvas anti-vibratórias são utilizadas na indústria com o objetivo de reduzir a vibração transmitida ao sistema mão-braço dos operadores. Esta investigação procura analisar as vibrações transmitidas ao punho, durante a utilização de duas ferramentas elétricas manuais (*Multicutter* e *Sabre-Saw*) sem luvas e usando quatro tipos de luvas anti-vibratórias.

O objetivo principal deste trabalho é analisar a eficácia das luvas anti-vibratórias em termos da vibração transmitida ao punho dos operadores, durante duas tarefas realizadas em contexto simulado de trabalho.

Foi efetuada a medição da aceleração de vibração na pega das ferramentas ($n= 8$ operadores) e no punho dos operadores ($n= 32$ operadores) através da fixação de um acelerómetro triaxial nos respetivos locais de medição.

Foram simulados dois centros de trabalho (CT), cada um utilizando uma das ferramentas elétricas manuais e realizados seis ensaios por quarenta operadores, em cada CT. Cada operador realizou um ensaio em vazio, sem luvas e cinco ensaios em corte sendo um deles sem luvas e os restantes quatro com luvas anti-vibratórias. Todos os ensaios foram realizados durante um período contínuo de 20 segundos com medições na mão dominante.

Constatou-se que a vibração total (a_{hv}) medida na pega das ferramentas é estatisticamente superior ($p\text{-level}<0,05$) à medida no punho dos operadores, na generalidade dos ensaios (transmissibilidade <1); aumento de $\approx 16 \text{ m.s}^{-2}$ na *Multicutter* e $\approx 2 \text{ m.s}^{-2}$ na *Sabre-Saw*.

Verificou-se que nem sempre as luvas atenuam a vibração transmitida ao punho dos operadores. Para a *Multicutter*, verificou-se um aumento ($p\text{-level}<0,05$) da vibração total (a_{hv}) transmitida ao punho, durante a utilização de dois tipos de luvas (aumento médio de $\approx 36\%$ na transmissão pega - punho, em 97 % dos operadores). Para a ferramenta *Sabre-Saw* os valores de a_{hv} transmitidos ao punho são semelhantes, com ou sem luvas anti-vibratórias.

De notar também que, a utilização de luvas anti-vibratórias pode influenciar o valor da vibração registado na pega das ferramentas.

A análise das vibrações em frequência revelou que a ferramenta *Multicutter* apresenta a sua

gama dominante nas altas frequências (250-1250 Hz), e a ferramenta *Sabre-Saw* nas médias e baixas frequências (250-400 Hz). A utilização de luvas anti-vibratórias não atenua a vibração no punho dos operadores em toda a gama de frequências, em ambas as ferramentas.

Palavras chave:

ferramentas manuais elétricas; vibração; luvas anti-vibratórias; transmissibilidade; sistema mão-braço

Abstract

Anti-vibration gloves are used in the industry with the aim of reducing the vibration transmitted to the hand-arm system operators . This research attempts to analyze the vibrations transmitted to the wrist, while using two electric power tools (*Multicutter* and *Sabre -Saw*) without gloves and using four types of anti-vibration gloves.

The main objective of this work is to analyze the effectiveness of anti-vibration gloves in terms of vibration transmitted to the wrist of operators during two tasks performed in a simulated context work.

It was performed the measure of vibration acceleration in the handle of the tool (n= 8 operators) and in the wrist of operators (n= 32 operators) by setting a triaxial accelerometer in the respective measurement locations.

Two simulated work centers (TC) were created, each one using the respective power tool, and performed six experiments for forty operators. Each operator realized one experiment with the blade of power tool held off the material (power tool on, however without cutting the material), with bare hand and with four different types of anti-vibration gloves with the power tool cutting the material. All experiments were performed over a continuous period of 20 seconds and the measurements in the dominant hand.

It was found that the total vibration (a_{hv}) measured in the handle of the tool is statistically higher ($p-level < 0,05$) than in the wrist of the operators in most experiments (transmissibility < 1); an increase of $\approx 16 \text{ m.s}^{-2}$ with *Multicutter* and $\approx 2 \text{ m.s}^{-2}$ with *Sabre-Saw*.

It was found that gloves do not always attenuate the vibration transmitted to the wrist of operators. For *Multicutter*, it was verified an increase ($p-level < 0,05$) of total vibration (a_{hv}) transmitted to the wrist during use of two types of gloves (increase of $\approx 36\%$ in the transmission handle - wrist, in 97% of the operators). For the tool *Sabre-Saw*, the wrist a_{hv} values are similar, with or without anti-vibration gloves.

Note also that the use of anti-vibration gloves can influence the values of a_{hv} measured on handle tool.

The analysis of frequency un-weighted vibration revealed that the tool *Multicutter* presents its dominant range at high frequencies (250-1250 Hz), and the tool *Sabre-Saw* in medium and low frequencies (250-400 Hz). The use of anti-vibration gloves does not attenuate frequency un-weighted vibration of the wrist operators entire frequency range for both tools.

Keywords:

electric power tools; vibration; anti-vibration gloves; transmissibility; hand-arm system

Índice de Matérias

Copyright	i
Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract	vii
Índice de Figuras	xiii
Índice de Tabelas	xvii
Lista de abreviaturas, siglas e símbolos	xxi
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento e motivação relativa ao tema	1
1.2 Objetivos da dissertação	2
1.3 Estrutura da dissertação	2
2 Revisão Bibliográfica	5
2.1 Vibrações	5
2.1.1 Conceitos gerais	5
2.1.2 Legislação e Normas subjacentes a esta temática	6
2.2 Caraterísticas da vibração	7
2.2.1 Direção	9
2.2.2 Frequência	9
2.2.3 Magnitude	10
2.2.4 Duração da exposição à vibração	10
2.3 Classificação das vibrações	11

2.4	Avaliação da exposição a vibrações transmitidas ao HAS	13
2.4.1	Valores eficazes da aceleração ponderada em frequência (HAS)	13
2.4.2	Valor total da vibração (HAS)	14
2.4.3	Valor da exposição diária à vibração (HAS)	14
2.5	Técnicas para medição da aceleração	18
2.5.1	Localização do acelerómetro	18
2.5.2	Fixação do acelerómetro	20
2.5.3	Origem de incertezas na medição de vibrações	21
2.5.4	DC-shift	22
2.6	Valores de a_{HV} declarados Vs. Valores de a_{HV} reais	23
2.7	Efeitos da vibração na saúde	24
2.7.1	Lesões vasculares	26
2.7.2	Lesões neurológicas	28
2.7.3	Lesões músculo-esqueléticas	30
2.7.4	Outras lesões	31
2.8	Prevenção	32
2.8.1	Medidas técnicas ou de engenharia	32
2.8.2	Medidas administrativas	33
2.8.3	EPI	33
2.9	Utilização de EPI como meio de proteção	33
2.9.1	Atual papel das luvas anti-vibratórias	33
2.9.2	Métodos de avaliação da eficácia das luvas anti-vibratórias e principais limitações	36
3	Metodologia de Investigação	41
3.1	Enquadramento da metodologia de investigação	41
3.2	Equipamentos, ferramentas e materiais	43
3.2.1	Equipamentos	43
3.2.2	Ferramentas	44
3.2.3	Materiais	45
3.3	Caraterização dos operadores	46
3.4	Protocolo de ensaios	47
3.4.1	Tarefa 1 - Ensaios com a ferramenta elétrica manual <i>Multicutter</i>	47
3.4.2	Tarefa 2 - Ensaios com a ferramenta elétrica manual <i>Sabre-Saw</i>	49

3.5	Tratamento estatístico dos dados	51
4	Apresentação e Discussão dos Dados Empíricos	53
4.1	Variabilidade de a_{hv} nas diferentes tarefas	53
4.1.1	Tarefa 1 - Operações com a ferramenta elétrica manual <i>Multicutter</i>	54
4.1.2	Tarefa 2 - Operações com a ferramenta elétrica manual <i>Sabre-Saw</i>	57
4.2	Valores de a_{hv} declarados Vs. Valores de a_{hv} obtidos	60
4.3	Análise da eficácia das luvas anti-vibratórias	62
4.3.1	Valores de aceleração da vibração total ponderada em frequência, medida nas pegadas das ferramentas	62
4.3.2	Valores de aceleração da vibração total ponderada em frequência, medida nos punhos dos operadores	65
4.4	a_{hv} emitido pela ferramenta e a_{hv} recebido no punho	70
4.5	Valores não ponderados de a_{hv} em frequência	72
4.6	a_{hv} não ponderado, em frequência - Multicutter	75
4.7	a_{hv} não ponderado, em frequência - Sabre-Saw	77
5	Conclusões e Recomendações	79
5.1	Principais conclusões	79
5.2	Recomendações	82
	Referências bibliográficas	85
A	Gráficos de a_{hv} em frequência	91
A.1	Gráficos de a_{hv} , em frequência - Multicutter	91
A.2	Gráficos de a_{hv} , em frequência - Sabre-Saw	94
B	Artigos	97
B.1	Artigo 1	97
B.2	Artigo 2	119
B.3	Artigo 3	125
C	Formulário	131

Índice de Figuras

2.1	Ilustração das propriedades da vibração (adaptado de CBMAapps (n.d.))	11
2.2	Classificação de alguns tipos de vibração (adaptado de Griffin (1996))	11
2.3	Exemplos de formas de onda de diferentes tipos de vibração (adaptado de Griffin (1996))	12
2.4	Curva de ponderação para cada frequência i de terços de oitava para vibrações transmitidas ao sistema mão-braço (HAV) (adaptado da Norma ISO 5349-1 (2001))	14
2.5	Influência da duração e do nível de vibração na exposição do HAS à vibração. Valores de VAE e VLE (adaptado de HSE)	17
2.6	Sistemas de coordenadas utilizados para medição da vibração no HAS (adaptado da Norma ISO 5349-1 (2001))	19
2.7	Exemplos de mãos de operadores com VWF (fonte: http://drugline.org/medic/term/vibration-white-finger/)	27
2.8	Ilustração alusiva à lesão do Síndrome do Túnel Cárpico (fonte: http://www.susmedicos.com/0_Articulos_General/art_Tunel_del_Carpo.htm)	30
2.9	Montagem utilizada para testar a transmissibilidade da vibração de luvas anti-vibratórias de acordo com a Norma ISO 10819 (1996)	37
2.10	Bandas de um terço de oitava do espectro M e do espectro H (barras vazias - valores eficazes de aceleração não ponderada em frequência; barras preenchidas - valores eficazes de aceleração ponderada em frequência) adaptado de Griffin (1998a) . .	37
3.1	Localização da fixação do acelerómetro em cada uma das ferramentas elétricas manuais e no punho do operador	42
3.2	Apresentação das ferramentas elétricas manuais utilizadas na presente investigação	44
3.3	Apresentação dos quatro tipos de luvas anti-vibratórias utilizadas nesta investigação	45
3.4	Postura do operador a exercer a força máxima de preensão, utilizando para o efeito um dinamómetro	47

3.5	Ilustrações representativas das posturas de trabalho dos operadores nas medições da aceleração de vibração, a_{hv} , utilizando a ferramenta <i>Multicutter</i>	48
3.6	Ilustrações representativas das posturas de trabalho dos operadores nas medições da aceleração de vibração, a_{hv} , utilizando a ferramenta <i>Sabre-Saw</i>	50
4.1	Comparação dos valores de vibração total obtidos em contexto simulado de trabalho para os 5 ensaios em corte, com os valores declarados pelos fabricantes e valores ajustados	61
4.2	Gráficos ilustrativos dos valores totais de vibração, a_{hv} , emitidos pelas pegas das ferramentas elétricas (média, máximo e mínimo), para cada uma das seis variáveis, nas medições feitas para as duas tarefas (n= 8 operadores)	66
4.3	Gráficos ilustrativos dos valores totais de vibração, a_{hv} , transmitidos ao punho dos operadores (média, máximo e mínimo), para cada um dos seis ensaios, nas medições feitas para as duas tarefas (n= 32 operadores)	69
4.4	Gráficos ilustrativos dos valores não ponderados de a_{hv} em frequência (média, máximo e mínimo), medidos na pega da ferramenta (n= 8 operadores) e no punho dos operadores (n= 32 operadores), para a tarefa com a <i>Multicutter</i> , sem luvas	74
4.5	Gráficos ilustrativos dos valores não ponderados de a_{hv} em frequência (média, máximo e mínimo), medidos na pega da ferramenta (n= 8 operadores) e no punho dos operadores (n= 32 operadores), para a tarefa com a <i>Sabre-Saw</i> , sem luvas	76
A.1	Valores não ponderados de a_{hv} em frequência, medidos no punho dos operadores, sem luvas	91
A.2	Valores não ponderados de a_{hv} em frequência, medidos no punho dos operadores, com luvas tipo 1	92
A.3	Valores não ponderados de a_{hv} em frequência, medidos no punho dos operadores, com luvas tipo 2	92
A.4	Valores não ponderados de a_{hv} em frequência, medidos no punho dos operadores, com luvas tipo 3	93
A.5	Valores não ponderados de a_{hv} em frequência, medidos no punho dos operadores, com luvas tipo 4	93
A.6	Valores não ponderados de a_{hv} em frequência, medidos no punho dos operadores, sem luvas	94
A.7	Valores não ponderados de a_{hv} em frequência, medidos no punho dos operadores, com luvas tipo 1	95

A.8	Valores não ponderados de a_{hv} em frequência, medidos no punho dos operadores, com luvas tipo 2	95
A.9	Valores não ponderados de a_{hv} em frequência, medidos no punho dos operadores, com luvas tipo 3	96
A.10	Valores não ponderados de a_{hv} em frequência, medidos no punho dos operadores, com luvas tipo 4	96

Índice de Tabelas

2.1	Atividades profissionais com riscos de vibrações (adaptada de (Lucas, 2007)) . . .	8
2.2	Valor limite e valor de ação de exposição para o HAS (de acordo com Ministério do Trabalho e da Solidariedade Social (2006))	16
2.3	Definição dos eixos ortogonais dos sistemas de coordenadas para a mão (retirado da Norma ISO 5349-1 (2001))	20
2.4	Fatores multiplicativos constantes no relatório técnico CEN/TR 15350 (2006) para algumas ferramentas	24
2.5	Escala numérica proposta no Workshop de Estocolmo para classificação dos vários estados do VWF (adaptado da Norma ISO 5349-1 (2001))	29
2.6	Escala numérica proposta no Workshop de Estocolmo para classificação dos vários estados das lesões neurológicas provocadas por vibrações (adaptado da Norma ISO 5349-1 (2001))	29
2.7	Variação nas medições da transmissibilidade derivada da influência de alguns fatores (Hewitt, 1998)	35
3.1	Especificações técnicas das ferramentas elétricas manuais utilizadas	44
3.2	Média, desvio padrão e amplitude da idade, medidas antropométricas e força muscular dos operadores (n=40)	46
4.1	Variabilidade de a_{hv} , medida na pega da ferramenta elétrica (n= 8 operadores) e no punho dos operadores (n= 32 operadores), durante os ensaios em contexto simulado de trabalho com a ferramenta <i>Multicutter</i>	54
4.2	Valores de <i>p-level</i> obtidos pelo teste estatístico não paramétrico <i>Wilcoxon Signed Ranks</i> , quando se comparam os valores do CV dos 6 ensaios entre si, utilizando a ferramenta <i>Multicutter</i> e fazendo a distinção entre valores com o acelerómetro localizado na pega da ferramenta e no punho dos operadores	55

4.3	Variabilidade de a_{hv} , medida na pega da ferramenta elétrica (n= 8 operadores) e no punho dos operadores (n= 32 operadores), durante os ensaios em contexto simulado de trabalho com a ferramenta <i>Sabre-Saw</i>	57
4.4	Valores de <i>p-level</i> obtidos pelo teste estatístico não paramétrico <i>Wilcoxon Signed Ranks</i> , quando se comparam os valores do CV dos 6 ensaios entre si, utilizando a ferramenta <i>Sabre-Saw</i> e fazendo a distinção entre valores com o acelerómetro localizado na pega da ferramenta e no punho dos operadores	58
4.5	Valores de a_{hv} emitidos pelas ferramentas. Medições feitas na pega das ferramentas durante os ensaios em contexto simulado de trabalho, com o acelerómetro na pega (n= 8 operadores)	60
4.6	Valores de <i>p-level</i> obtidos pelo teste estatístico não paramétrico <i>Wilcoxon Signed Ranks</i> , quando se comparam os valores de a_{hv} dos 6 ensaios entre si, para medições realizadas nas pegas das ferramentas e fazendo a distinção entre valores registados nas ferramentas <i>Multicutter</i> e <i>Sabre-Saw</i> (n= 8 operadores) . .	63
4.7	Valores de a_{hv} transmitidos ao punho dos operadores. Medições feitas no punho dos operadores durante as operações em contexto simulado de trabalho (n = 32 operadores)	65
4.8	Valores de <i>p-level</i> obtidos pelo teste estatístico não paramétrico <i>Wilcoxon Signed Ranks</i> , quando se comparam os valores de a_{hv} dos 6 ensaios entre si, para medições realizadas no punho dos operadores e fazendo a distinção entre valores registados nas ferramentas <i>Multicutter</i> e <i>Sabre-Saw</i> (n= 32 operadores)	67
4.9	Comparação dos valores totais de vibração, registados pelo acelerómetro colocado na pega das ferramentas <i>Multicutter</i> e <i>Sabre-Saw</i> (n= 8 operadores), com os valores totais de vibração registados pelo acelerómetro quando colocado no punho dos operadores (n= 32 operadores)	70
4.10	Valores de <i>p-level</i> obtidos pelo teste estatístico não paramétrico <i>Wilcoxon Signed Ranks</i> , quando se comparam os valores de a_{hv} emitidos pelas ferramentas (n= 8 operadores) e aqueles que são efetivamente transmitidos ao HAS (n= 32 operadores)	71
4.11	Valores da vibração total, a_{hv} , não ponderada em frequência (média (desvio padrão)), medidos na pega das ferramentas (n= 8 operadores) e no punho dos operadores (n= 32 operadores) durante os ensaios em corte, sem luvas	73

4.12 Valores da vibração total, a_{HV} , não ponderada em frequência (média (desvio padrão)), medidos no punho dos operadores (n= 32 operadores) nos ensaios em corte, para a tarefa 1	77
4.13 Valores da vibração total, a_{HV} , não ponderada em frequência (média (desvio padrão)), medidos no punho dos operadores (n= 32 operadores) nos ensaios em corte, para a tarefa 2	78

Lista de abreviaturas e símbolos

Vão sendo referidas algumas abreviaturas e símbolos, ao longo de todo o trabalho. De maneira que importa aqui referir o significado de cada um deles em inglês e português. Poderão alguns deles ter correspondência direta com a língua portuguesa e outros com a língua inglesa, de acordo com a informação existente na literatura nacional e internacional de modo a tornar mais fácil a leitura e para uma melhor interpretação por parte do leitor.

Abreviaturas

CTS Carpal tunnel syndrome (Síndrome do Túnel Cárpico)

EPI Personal protective equipment (Equipamento de proteção individual)

HAS Hand-arm system (Sistema mão-braço)

HAV Hand-arm vibration (Vibração mão-braço)

HAVS Hand-arm vibration syndrome (Síndrome de vibração mão-braço)

RMS Root-mean-square (Valor médio eficaz)

VWF Vibration white finger (Dedos brancos induzidos por vibração)

Símbolos

a_{hv} Vibração total

a_{hwx} Aceleração ponderada em frequência segundo o eixo de coordenadas xx

a_{hwv} Aceleração ponderada em frequência segundo o eixo de coordenadas yy

a_{hwz} Aceleração ponderada em frequência segundo o eixo de coordenadas zz

W_h Fator de ponderação para vibrações transmitidas ao HAS

$a_{hv(eq,8h)}$ Valor da exposição diária à vibração para um período de referência de 8 horas

A(8) Uma alternativa à sigla $a_{hv(eq,8h)}$

SD Standard Deviation (Desvio Padrão)

T Tempo diário de exposição à vibração total, a_{hv}

T_0 Período de referência de 8 horas (28 800 s)

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento e motivação relativa ao tema

A exposição à vibração transmitida ao HAS é um assunto que tem vindo a assumir uma certa importância uma vez que representa um risco para a saúde ocupacional dos operadores (podendo ser causadora de lesões neurológicas, vasculares e músculo-esqueléticas), razão pela qual deve ser controlada e avaliada.

Nos últimos anos as entidades empregadoras têm sido cada vez mais pressionadas pela legislação subjacente a esta temática (ver secção 2.1.2), no sentido de as obrigarem a cumprir requisitos legais (por exemplo, os valores limites de exposição à vibração), cada vez mais exigentes.

Desta forma, o ideal seria eliminar ou reduzir a vibração na fonte, o que nem sempre é possível devido às características das próprias máquinas e ferramentas (a substituição por outras mais sofisticadas poderia ser solução, embora, por vezes inviável sob o ponto de vista económico), pelo que se torna importante perceber qual a eficácia dos equipamentos de proteção individual (EPI) existentes, nomeadamente as luvas anti-vibratórias.

Na literatura consultada, poucos estudos se têm efetuado relativamente às vantagens e desvantagens da utilização de luvas anti-vibratórias, nomeadamente no que diz respeito à transmissibilidade da vibração ao HAS dos operadores. Esta questão torna-se pertinente, pois ao decidir utilizar luvas anti-vibratórias como EPI, com o objetivo de reduzir a vibração transmitida ao HAS, estas podem no entanto, vir a aumentar essa mesma vibração.

Assim, estes fatores motivaram a elaboração desta dissertação, no sentido de se chegar a algumas conclusões que possam ser vistas como contributos importantes nesta área.

O presente estudo descreve uma série de ensaios experimentais executados por quarenta

jovens saudáveis, do sexo masculino, com idades entre os 19 e os 28 anos, em contexto simulado de dois postos de trabalho. Para tal, foram usadas duas ferramentas elétricas manuais de corte, respeitantes a cada posto de trabalho, com o objetivo de determinar e quantificar as vibrações transmitidas ao HAS dos operadores com e sem a utilização de luvas anti-vibratórias.

1.2 Objetivos da dissertação

Os objetivos que estiveram na base desta investigação, esperando-se que no final se obtenham respostas, nem que sejam apenas parcialmente, a cada um deles, foram os seguintes:

- Verificar se o valor das vibrações emitidas pelas ferramentas elétricas manuais em contexto simulado de trabalho, coincide com o valor declarado pelos fabricantes;
- Perceber qual o comportamento das vibrações emitidas pelas ferramentas relativamente à sua transmissão para o punho dos operadores;
- Verificar o impacto da utilização de luvas anti-vibratórias nas vibrações recebidas no punho dos operadores;
- Verificar a influência que a frequência das vibrações pode ter no comportamento (ampliação ou atenuação) da transmissão das vibrações para o punho dos operadores.

Espera-se que este estudo tenha um impacto importante na abordagem das empresas à escolha dos equipamentos de proteção individual utilizados, nomeadamente luvas anti-vibratórias, aquando da utilização de ferramentas elétricas manuais, por parte dos seus operadores.

1.3 Estrutura da dissertação

A dissertação está organizada em cinco capítulos, os quais se descrevem de seguida:

- **Capítulo 1 - Introdução:** No capítulo 1 é feito o enquadramento do tema, justificando o tema escolhido para elaboração deste trabalho. São também mencionadas as principais motivações e objetivos, descrevendo de uma forma muito resumida a metodologia utilizada para o mesmo. O capítulo termina com a apresentação da estrutura da dissertação.
- **Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica:** Neste capítulo são abordados fundamentos teóricos, de acordo com a literatura consultada, relativos aos assuntos que têm relevância para

o desenvolvimento deste projeto, entre os quais se destacam o conceito de vibração, a vibração transmitida ao HAS, métodos para medições da vibração e a utilização de luvas anti-vibratórias.

As referências bibliográficas bem como todas as citações ao longo da dissertação seguiram as normas do manual da *American Psychological Association (APA)*.

- **Capítulo 3 - Metodologia de Investigação:** No capítulo 3 procede-se à descrição dos equipamentos, ferramentas e materiais utilizados nos ensaios experimentais. São também descritos exaustivamente os protocolos desenvolvidos para a condução das duas tarefas.
- **Capítulo 4 - Apresentação e Discussão dos Dados Empíricos:** Este capítulo é destinado à apresentação e tratamento dos dados empíricos. É neste capítulo que são descritas as análises efetuadas ao mesmo tempo que se fazem as respetivas discussões de resultados, que irão dar origem às conclusões obtidas presentes no seguinte capítulo.
- **Capítulo 5 - Conclusões e Recomendações:** Por último, o capítulo 5 apresenta as conclusões finais relativas ao estudo realizado no âmbito desta dissertação e as sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros nesta área de investigação.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

Existem inúmeros trabalhadores em todo o mundo que estão diariamente expostos a diversos tipos de vibrações.

No decorrer de toda a dissertação será abordado apenas a vibração transmitida ao HAS. No presente capítulo será sintetizada a informação existente na literatura relativa à vibração transmitida ao HAS.

2.1 Vibrações no sistema mão-braço

2.1.1 Conceitos gerais

A utilização de ferramentas elétricas manuais vibratórias está amplamente difundida no contexto de trabalho, particularmente em empresas da seção A (agricultura), da seção B (indústrias extrativas), da seção C (indústrias transformadoras) e seção F (construção), de acordo com o Instituto Nacional de Estatística. São utilizadas em muitas profissões e podem diferir entre si no que diz respeito à dimensão da ferramenta, ao seu peso, à frequência e amplitude da aceleração e à forma da pega (Gerhardsson, Balogh, Lambert, Hjortsberg, & Karlsson, 2005).

Muito embora a vibração no sistema mão-braço seja facilmente perceptiva, não é possível, só por si, avaliar se a vibração é ou não prejudicial à saúde. Importa pois, fazer a medição da vibração transmitida ao ser humano, a fim de prevenir eventuais lesões (CCOHS, 2008(a)). Na seção 2.7 será analisada, em maior detalhe, os efeitos dessa vibração na saúde do operador.

Para Griffin (1996), a vibração pode causar incômodo, pode ser nauseante, dolorosa ou até mesmo ser emocionante e agradável. Pode ser vista tanto como uma fonte de prazer ou como uma causa para dor e desconforto. Sendo que esse desconforto, a interferência nas atividades, a afetação da saúde e o mau estar causados pelo movimento (vibração) no ser humano, dependem

de alguns fatores tais como: as características da vibração, as características da pessoa exposta à vibração, as atividades realizadas pela pessoa e por outros fatores ligados ao meio ambiente.

Importa também referir que, segundo o mesmo autor, a vibração não é mais do que um movimento oscilatório não constante, que é alternadamente superior e inferior a um determinado valor médio. A extensão dessa oscilação determina a magnitude da vibração e a taxa de repetição dos ciclos das oscilações determina a frequência da vibração.

Estas e outras propriedades da vibração serão abordadas mais detalhadamente na seção 2.2.

No âmbito desta dissertação (vibrações transmitidas ao HAS), é importante definir os conceitos de HAS e HAV para um melhor enquadramento por parte do leitor, relativo aos vários temas que irão ser abordados ao longo deste trabalho.

Assim, segundo a Norma ISO 5805 (1997), quando falamos em HAS, referimo-nos aos membros superiores do corpo humano que são considerados como receptores de vibrações (ou choques). Por sua vez, é também necessário ter em conta que o HAV respeita a vibrações mecânicas (ou choques) diretamente aplicadas ou transmitidas ao HAS, geralmente através da palma da mão ou dos dedos, durante a utilização e preensão de uma ferramenta ou peça de trabalho.

2.1.2 Legislação e Normas subjacentes a esta temática

A diretiva-quadro europeia 89/391/CEE marcou uma importante etapa na melhoria da saúde e segurança no trabalho. Esta directiva-quadro estabelece condições mínimas de saúde e segurança em toda a Europa, no entanto os Estados-Membros possuem a opção de manter ou estabelecer novas medidas mais exigentes (Comissão Europeia, 1989).

De modo a proteger os operadores de desenvolverem lesões relacionadas com a exposição a vibrações, vários critérios foram propostos nos diferentes países (Vergara, Sancho, Rodríguez, & Pérez-González, 2008). Na União Europeia (EU), surgiu a Diretiva 2002/44/CE, que estabelece as prescrições mínimas de saúde e segurança no que diz respeito à exposição dos trabalhadores aos riscos devidos a vibrações mecânicas (Comissão Europeia, 2002).

Esta Diretiva começa a ser reconhecida em 2005 (Rimell, Notini, Mansfield, & Edwards, 2008) e em 2006 é instaurado em Portugal o Decreto-Lei n.º 46/2006 que transpõe para a ordem jurídica nacional a Diretiva mencionada.

A mesma Diretiva estabelece ainda que a vibração transmitida ao HAS deverá ser medida de acordo com a Norma ISO 5349 (2001) (Vergara et al., 2008). Esta Norma encontra-se dividida em duas partes, sendo que a primeira diz respeito aos requisitos gerais e a segunda à orientação

prática para a medição da vibração no local de trabalho.

É também de referir a existência de outras Normas relativas ao tema desta dissertação. Para descrever com precisão a exposição humana às vibrações mecânicas é importante ter os sistemas de coordenadas biodinâmico e basicêntrico para medições no sistema mão-braço, bem definidos. A Norma ISO 8727 (1997) especifica esses sistemas de coordenadas de modo a poder estabelecer um padrão anatómico como referência para a descrição e medição da vibração que afeta o HAS dos operadores.

As luvas anti-vibratórias assumem um papel preponderante no desenvolvimento deste trabalho, de maneira que importa referir a existência de uma Norma que especifica um método para a medição da transmissão das vibrações através de luvas anti-vibratórias, em laboratório. Assim, a análise dos dados e a transmissibilidade da vibração através de luvas anti-vibratórias desde a pega da ferramenta para a palma da mão do operador, baseiam-se sobretudo na Norma ISO 10819 (1996).

Existe também uma Norma referente ao vocabulário adoptado relativo à temática da exposição humana a vibrações mecânicas e choques. Trata-se da Norma ISO 5805 (1997), que contém uma revisão técnica e complementa a Norma ISO 5805 (1981), a qual acabou por ser substituída.

2.2 Caraterísticas da vibração

Tal como foi referido na seção 2.1.1, as vibrações surgem nas mais diversas actividades do meio laboral, em particular na construção civil e obras públicas, indústrias extractivas, agricultura e exploração florestal, fundições e transportes (Lucas, 2007). De igual forma, para o mesmo autor, estes agentes físicos prejudiciais à saúde do operador podem surgir não só do posto de trabalho do operador (vibrações no corpo inteiro) como também de máquinas e ferramentas portáteis motorizadas.

A tabela 2.1 apresenta um conjunto de actividades profissionais com riscos significativos de exposição às vibrações, assim como os respetivos tipos de vibração recebida pelo operador e a fonte habitual dessa mesma vibração.

Os efeitos provocados no operador pela exposição às vibrações estão dependentes de fatores ligados diretamente ao trabalho, como por exemplo, a intensidade, frequência, e direcção das vibrações, do ponto de transmissão da vibração no corpo humano, da duração da exposição, do período de trabalho do operador, bem como da sua exposição acumulada, da temperatura no posto de trabalho, do estado de manutenção da ferramenta ou peça de trabalho vibratória,

Tabela 2.1: Atividades profissionais com riscos de vibrações (adaptada de (Lucas, 2007))

Atividade	Tipo de vibração	Fonte usual de vibração
Agricultura	Corpo inteiro	Tratores
Construção	Mão-braço	Ferramentas pneumáticas
	Corpo inteiro	Veículos de equipamento pesado
Indústria mineira	Mão-braço	Brocas de furação
	Corpo inteiro	Veículos de furação
Indústria têxtil	Mão-braço	Máquinas de costura/teares
Serração	Mão-braço	Serras articuladas
Silvicultura	Mão-braço	Serras articuladas
	Corpo inteiro	Tratores

do formato da pega da ferramenta e da força de aperto usada. Existem também fatores que estão diretamente relacionados com o operador, como sejam a sensibilidade individual, o tempo de exposição à vibração em atividades extra laborais, lesões ocorridas nas mãos e doenças crônicas como a diabetes e a artrite reumatóide (Falkiner, 2003; Sebastião, Marziale, & Robazzi, 2007).

Também a Norma ISO 5349-1 (2001) repete estes mesmos fatores como sendo responsáveis por influenciar os efeitos da exposição às vibrações transmitidas ao HAS. Esta Norma ISO 5349-1 (2001), indica também outros fatores que influenciam a exposição às vibrações e para os quais não existem ainda métodos normalizados de avaliações, como sejam:

- A direção da vibração transmitida para a mão;
- O método de trabalho e a aptidão/capacidade do operador;
- A idade ou outros fatores preponderantes na fisiologia ou saúde do operador;
- A duração e a frequência dos períodos de trabalho e de descanso;
- As forças aplicadas pelo operador através da mão para a ferramenta ou peça de trabalho, tais como as forças de aperto e de empurrar, e a pressão de contato entre a ferramenta e a mão do operador;
- As posturas da mão, do braço e do corpo durante a exposição (ângulos do punho, cotovelo e articulação do ombro);
- As condições de funcionamento e manutenção das ferramentas vibratórias manuais;
- A área e a localização da região da mão que está exposta à vibração;
- A temperatura ambiente;

- O ruído.

Apresenta-se de seguida uma breve descrição de algumas propriedades da vibração, que são ao mesmo tempo responsáveis por influenciar os efeitos da exposição às vibrações transmitidas ao HAS: (a figura 2.1 retrata graficamente essas propriedades, de maneira a que o leitor fique com uma melhor percepção de cada uma delas)

- Direção
- Frequência
- Magnitude
- Duração da exposição à vibração

2.2.1 Direção

A vibração recebida pelas mãos contém a contribuição da vibração medida nos três eixos ortogonais. É pois importante fazer a sua medição, preferencialmente nos três eixos em simultâneo (Dewangan & Tewari, 2008).

Na seção 2.5 analisar-se-á o sistema principal de coordenadas utilizado para a medição da vibração no HAS.

2.2.2 Frequência

Estando um objeto em vibração significa que este se move em sentidos opostos em relação à sua posição estática. Uma oscilação completa surge quando o objeto se move entre duas posições extremas, e regressa à posição de origem. O número de ciclos que um objeto em vibração conclui no espaço de um segundo, define-se por frequência. A unidade de medida da frequência é o hertz (Hz), em que um hertz equivale a um ciclo por segundo (CCOHS, 2008(b)).

A mesma magnitude de uma vibração em diferentes frequências pode causar sensações físicas e efeitos na saúde diferentes de operador para operador. O parâmetro ou coeficiente normalizado que permite apresentar os efeitos na saúde dos operadores em função da frequência é convencionalmente denominado de *frequência ponderada*. Esta frequência ponderada, que vem especificada na Norma ISO 5349-1 (2001), teve como base resultados obtidos através de estudos baseados na percepção sensorial dos operadores (R. G. Dong, Welcome, & Wu, 2005).

2.2.3 Magnitude

As vibrações de uma máquina ou ferramenta (ferramenta elétrica vibratória, por exemplo) são causadas pelo movimento dos componentes dessa ferramenta. O movimento dos componentes é vital para o seu funcionamento, e a vibração total transmitida para as partes do corpo humano em contato com a máquina ou ferramenta é proveniente de diferentes frequências medidas simultaneamente. A resposta do corpo humano à vibração está fortemente dependente da frequência da vibração (Dewangan & Tewari, 2008).

A magnitude de uma vibração pode ser quantificada pelo seu deslocamento, pela sua velocidade ou pela aceleração. Por conveniência a aceleração é medida com a ajuda de acelerômetros, e a sua unidade de medida são metros por segundo ao quadrado m.s^{-2} . Na seção 2.5 irão ser detalhadas as técnicas para a medição da aceleração.

Para Griffin (1998b) a magnitude de uma vibração pode ser expressa como a distância entre as extremidades alcançadas pelo movimento (valor de pico-pico), ou então pela distância desde um valor central até ao valor máximo (valor do pico ou amplitude). Frequentemente, a magnitude da vibração também é expressa como um valor médio da aceleração num movimento oscilatório (vibração) a que é atribuído a designação de raiz quadrada média ou valor médio eficaz (RMS), também ele medido em m.s^{-2} . Para uma frequência única (e sinusoidal) do deslocamento, o valor de RMS pode ser obtido pelo quociente entre o valor do pico e $\sqrt{2}$.

2.2.4 Duração da exposição à vibração

A resposta do corpo humano à vibração depende da duração da exposição à mesma. Se as características da vibração se mantiverem constantes com o tempo, o valor de RMS proporciona uma adequada medida do valor médio da magnitude da vibração. Bastará um cronómetro para determinar a duração da exposição à vibração. No caso das características da vibração se alterarem, o valor da vibração média irá depender do período de tempo em que ocorre a sua medição. Além disso, o valor de RMS da vibração não reflete a realidade dos movimentos que contêm choques, ou por outro lado são extremamente intermitentes.

Muitas das exposições à vibração são intermitentes, a sua magnitude varia de momento a momento, ou contém choques ocasionais. Tais variações que podem ocorrer durante a exposição do corpo humano às vibrações poderão ser distribuídas de modo a atribuir um peso apropriado a cada tipo de tarefa a desempenhar. Por exemplo, conceder períodos breves de vibração com elevada magnitude e longos períodos de vibração com baixa magnitude (Griffin, 1998b).

A seção 2.4 irá servir para fazer uma avaliação da exposição a vibrações transmitidas ao HAS.

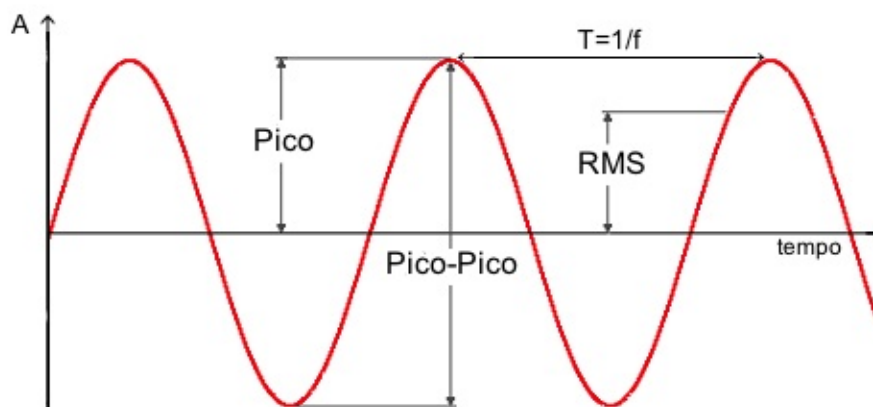


Figura 2.1: Ilustração das propriedades da vibração (adaptado de CBMAps (n.d.))

2.3 Classificação das vibrações

A natureza de uma vibração pode ser previsível se tivermos conhecimento das vibrações que a antecederam (vibração determinística) ou poderá ser imprevisível, isto é, caracterizada com base em apenas algumas propriedades que apresenta (vibração aleatória). Ambos os tipos de vibrações podem ser subdivididos de acordo com o diagrama apresentado na figura 2.2.

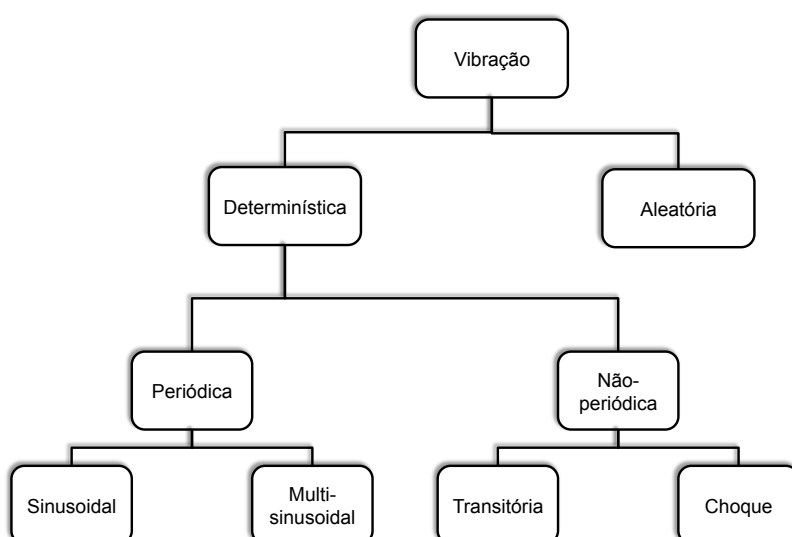


Figura 2.2: Classificação de alguns tipos de vibração (adaptado de Griffin (1996))

O diagrama da figura 2.2 apresenta esquematicamente alguns tipos de vibração. Apenas as

vibrações sinusoidais permitem que estudos sejam realizados de modo a ser possível estudar a resposta à vibração a partir de uma única frequência. Pelo que, foram efetuadas várias experiências laboratoriais de resposta do corpo humano à vibração de modo a investigar a reação a vibrações sinusoidais. No entanto, na prática, imperfeições no sinal da vibração proveniente da ferramenta ou máquina elétrica levam por vezes à obtenção de sinusóides distorcidas como resultados (vibração multi-sinusoidal), contendo uma mistura de frequências harmonicamente relacionadas.

De salientar que muito poucos estudos experimentais foram feitos relativamente à resposta a vibrações determinísticas não-periódicas.

As vibrações a que estamos sujeitos durante viagens, lazer, etc...são descritas como vibrações aleatórias (Griffin, 1996).

Para uma melhor percepção das características de cada tipo de vibração, apresentam-se de seguida, na figura 2.3, exemplos das suas respetivas ondas.

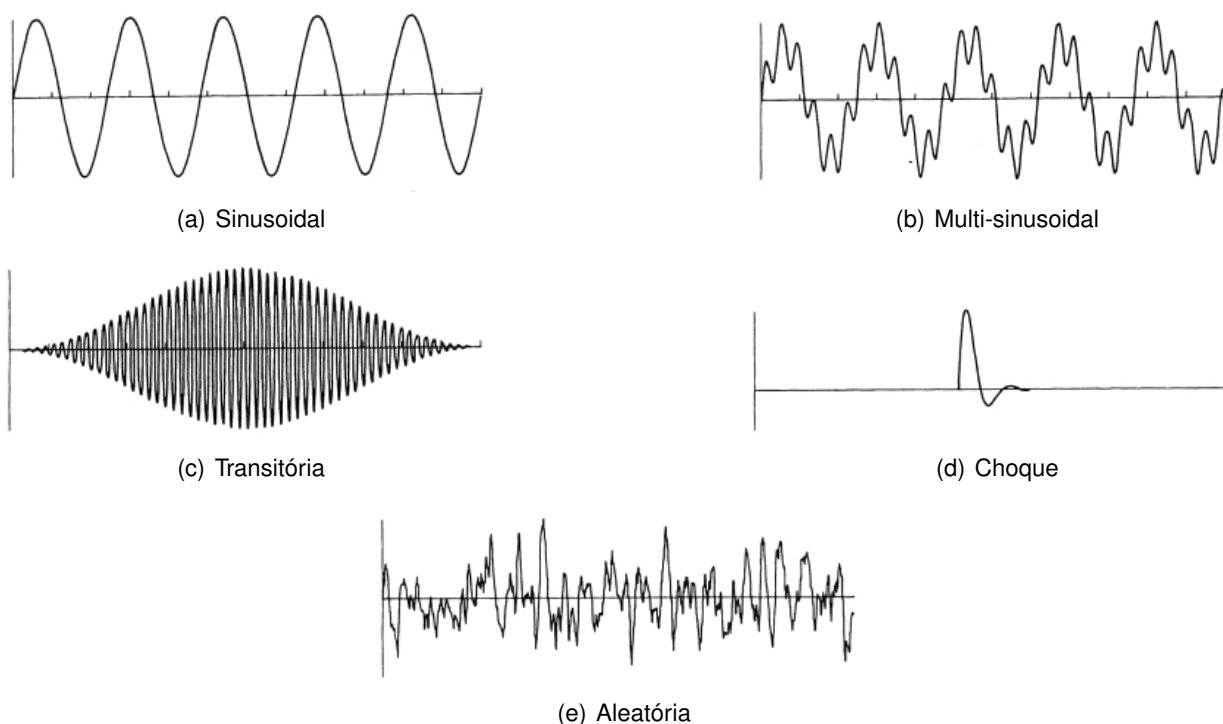


Figura 2.3: Exemplos de formas de onda de diferentes tipos de vibração (adaptado de Griffin (1996))

2.4 Avaliação da exposição a vibrações transmitidas ao HAS

Na Norma ISO 5349 (1986), anterior à Norma ISO 5349-1 (2001), a avaliação da exposição a vibrações transmitidas ao HAS apenas se baseava na componente direcional da vibração com o valor eficaz mais elevado de aceleração ponderada em frequência. Na atual Norma ISO 5349-1 (2001) a avaliação é feita segundo o valor total da vibração, isto é, pela raiz quadrada da soma dos quadrados dos valores eficazes da aceleração ponderada em frequência (equação 2.2). Esta alteração vem também ao encontro de que a vibração medida em vários tipos de ferramentas elétricas, não é dominante segundo apenas uma coordenada ortogonal. Uma coordenada ortogonal é dominante quando ambas as coordenadas não-dominantes apresentam um valor de aceleração da vibração 30% inferior ao valor da coordenada ortogonal dominante. A avaliação da exposição a vibrações transmitidas ao HAS segundo o valor total da vibração (equação 2.2) terá sempre valores de 1,2 a 1,5 vezes superior ao valor da coordenada com maior aceleração (ISO 5349-1, 2001).

A mesma Norma refere ainda que a vibração transmitida para o HAS na maioria das ferramentas elétricas, contem a contribuição das medições realizadas nas três coordenadas ortogonais. Por isso é importante que estas medições sejam feitas em simultâneo.

Para uma correta avaliação da exposição a vibrações transmitidas ao HAS existe um conjunto de variáveis intermédias que terão que ser previamente determinadas e que estão apresentadas nas seguintes seções.

2.4.1 Valores eficazes da aceleração ponderada em frequência (HAS)

Os valores eficazes da aceleração ponderada em frequência segundo as coordenadas ortogonais x, y e z ($a_{hw x}$, $a_{hw y}$ e $a_{hw z}$ respetivamente) são dados através da equação 2.1 e medidos em $m.s^{-2}$, em que W_{hi} é o fator de ponderação para a $i^{ésima}$ banda de terços de oitava, e a_{hi} é a aceleração para a $i^{ésima}$ banda de terços de oitava, expressa em $m.s^{-2}$.

$$a_{hw} = \sqrt{\sum_i (W_{hi} \cdot a_{hi})^2} \quad (2.1)$$

A Norma ISO 5349-1 (2001) fornece também diferentes fatores de ponderação (W_{hi}) para as várias bandas de terços de oitava no intervalo de 6,3 Hz a 1250Hz (faixa de frequências primária), através de uma curva de ponderação, que está ilustrada na figura 2.4.

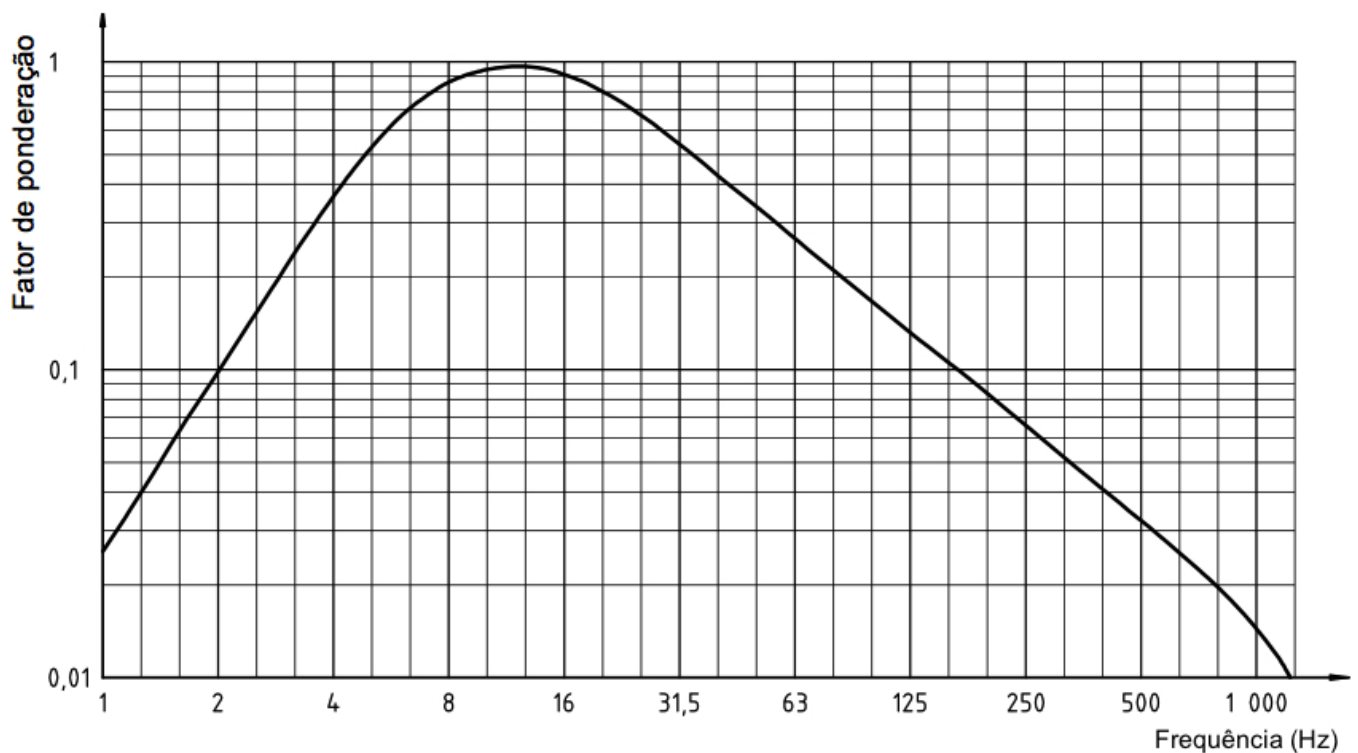


Figura 2.4: Curva de ponderação para cada frequência i de terços de oitava para vibrações transmitidas ao sistema mão-braço (HAV) (adaptado da Norma ISO 5349-1 (2001))

2.4.2 Valor total da vibração (HAS)

Como já foi referido anteriormente, a avaliação da exposição à vibração corresponde a um valor de aceleração que combina os valores de cada uma das três coordenadas ortogonais. A este valor atribui-se o nome de vibração total, a_{hv} , medido em $m.s^{-2}$ e definido segundo a equação 2.2.

$$a_{hv} = \sqrt{(a_{hvx}^2 + a_{hvy}^2 + a_{hvw}^2)} \quad (2.2)$$

2.4.3 Valor da exposição diária à vibração (HAS)

O valor da exposição diária que está em conformidade com a Norma ISO 5349-1 (2001) está normalizado para um período de referência de oito horas de trabalho e deriva do valor total da vibração e da duração de exposição diária. A versão anterior desta Norma, a Norma ISO 5349 (1986), usava como valor de referência quatro horas de trabalho.

De modo a normalizar as exposições diárias de diferentes durações, o valor total da vibração equivalente, ponderada em frequência para um período de oito horas, $a_{hv(eq,8h)}$, vem expresso

segundo a seguinte equação 2.3. Por razões práticas, $a_{hv(eq,8h)}$, poderá ser escrito como $A(8)$ e a sua unidade de medida é também $m.s^{-2}$.

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (2.3)$$

Onde T representa o tempo diário de exposição à vibração total, a_{hv} , e T_0 o período de referência de 8 horas (28 800 s).

Se o valor total de exposição diária consistir em várias tarefas realizadas e se cada uma delas possuir um valor de magnitude da vibração diferente, então o valor de $A(8)$ deverá ser obtido de acordo com a equação 2.4.

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{hvi}^2 T_i} \quad (2.4)$$

Onde a_{hvi} corresponde ao valor total da vibração para a i ésima tarefa, n diz respeito ao número de tarefas, T_i é o tempo de exposição para a i ésima tarefa e T_0 representa o período de referência de 8 horas (28 800 s).

Segundo a Norma ISO 5349-2 (2002), a avaliação da exposição diária à vibração no HAS deve ser feita através dos seguintes procedimentos:

1. Identificação de operações rotineiras que compõem um dia de trabalho padrão do operador;
2. Seleção das operações a serem avaliadas;
3. Medição da vibração total relativa a cada operação selecionada;
4. Avaliação da duração média de exposição a que o operador está sujeito em cada operação selecionada;
5. Cálculo do valor da exposição diária à vibração, $A(8)$.

Para ferramentas elétricas que necessitem ser seguras com ambas as mãos, as medições serão efetuadas em cada mão. A exposição diária às vibrações deve ser determinada por referência ao valor mais elevado das medições (Comissão Europeia, 2002).

Ainda segundo a Norma ISO 5349-2 (2002), poderão estar associadas incertezas à medição do valor de exposição diária à vibração, nomeadamente as seguintes:

- Incertezas nas medições da duração da exposição;

- Incertezas na estimativa do número de ciclos que o operador realiza em cada dia de trabalho;
- Incertezas originadas pelo fornecimento do tempo de exposição à vibração pelo operador. Neste caso pode ocorrer uma interpretação errada pelo operador, confundindo o tempo de utilização da ferramenta elétrica com o tempo a que está realmente exposto à vibração.

Depois de obtido o valor total de exposição diária à vibração, é fundamental que se compare este valor com o valor limite de exposição (VLE) e o valor de ação de exposição (VAE) referidos na Diretiva 2002/44/CE Comissão Europeia (2002) e posteriormente transpostos para o artigo 3.º do Decreto-Lei n.º 46/2006 de Portugal. Estes valores estão representados na tabela 2.2.

Tabela 2.2: Valor limite e valor de ação de exposição para o HAS (de acordo com Ministério do Trabalho e da Solidariedade Social (2006))

	Ação de exposição (VAE)	Limite de exposição (VLE)
Sistema mão-braço (HAS)	2,5 m.s ⁻² A(8)	5,0 m.s ⁻² A(8)

De acordo com o artigo 2.º do Decreto-Lei n.º 46/2006 de Portugal, podemos definir valor de ação de exposição (VAE) como o valor da exposição pessoal diária, calculado num período de referência de oito horas, expresso em m.s⁻², que uma vez ultrapassado, implica a tomada de medidas preventivas adequadas e valor limite de exposição (VLE) como o valor limite de exposição pessoal diária, calculado num período de referência de oito horas, expresso em m.s⁻², que não deve ser ultrapassado (Ministério do Trabalho e da Solidariedade Social, 2006).

A figura 2.5 representa graficamente os valores da aceleração relacionados com os valores limite diários de vibração (VAE e VLE).

O artigo 5.º da Diretiva 2002/44/CE (Comissão Europeia, 2002), em conformidade com o disposto no artigo 6.º do Decreto-Lei n.º 46/2006 de Portugal, refere-nos também que, os riscos resultantes da exposição a vibrações devem ser eliminados na fonte ou reduzidos ao mínimo. Sempre que o valor de VAE seja excedido, o mesmo artigo aponta também um programa de medidas técnicas e organizacionais destinadas a reduzir ao mínimo a exposição a vibrações e os riscos que dela resultam, nomeadamente:

- Métodos de trabalho alternativos;
- A escolha de equipamento de trabalho adequado;
- A instalação de equipamento auxiliar destinado a reduzir a vibração transmitida ao HAS;

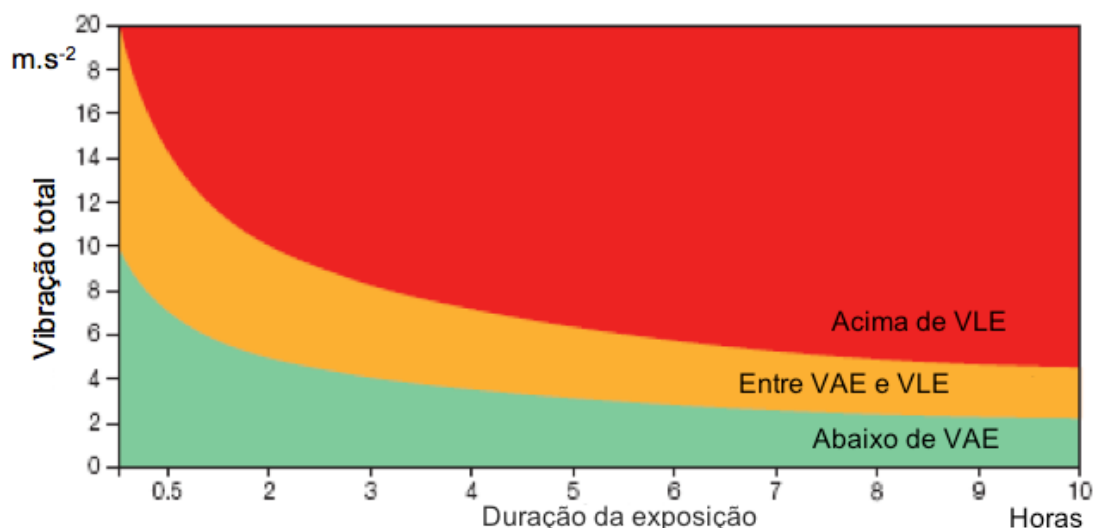


Figura 2.5: Influência da duração e do nível de vibração na exposição do HAS à vibração. Valores de VAE e VLE (adaptado de HSE)

- Manutenção do equipamento, local e instalações existentes de trabalho;
- Concepção dos postos de trabalho;
- Informação e formação adequadas dos trabalhadores de modo a fazer um uso correto do equipamento de trabalho;
- Limitação da duração e da intensidade da exposição;
- Horário de trabalho com períodos de tempo de repouso apropriados;
- Fornecimento de vestuário apropriado para proteção ao frio e humidade aos trabalhadores.

Os trabalhadores não poderão estar sujeitos, em situação alguma, a um valor de exposição à vibração superior ao valor de VLE.

O valor total da vibração transmitida ao HAS por intermédio de uma ferramenta elétrica vibratória pode ser avaliado recorrendo à (a) observação das práticas de trabalho específicas e às informações pertinentes sobre o nível de vibrações correspondentes ao equipamento utilizado, geralmente fornecidas pelos fabricantes; e (b) à medição, a qual exige a utilização de aparelhos específicos e de metodologia apropriada (Comissão Europeia, 2002).

2.5 Técnicas para medição da aceleração

De modo a avaliar a exposição diária à vibração de um operador importa ter conhecimento das operações, realizadas diariamente, com maior contribuição para o valor total de vibração transmitida ao HAS. Para cada uma destas operações é necessário adoptar os procedimentos corretos para efetuar as medições da exposição à vibração. Os métodos utilizados podem variar de acordo com o ambiente e rotinas de trabalho e com a fonte da vibração (ISO 5349-2, 2002).

Os sistemas de medição da vibração utilizam, geralmente, acelerómetros de modo a quantificar a vibração transmitida ao sistema mão-braço. A Norma ISO 5349-2 (2002) refere também que o sinal de vibração proveniente do acelerómetro pode ser processado de diferentes modos para determinar o valor eficaz da aceleração ponderada em frequência. Os acelerómetros mais sofisticados encontram-se preparados para efetuar análises em frequência (bandas de um terço de oitava). Esta técnica é muito proveitosa para o caso de existirem dúvidas, no decorrer da medição, relativas à qualidade do sinal da aceleração (por exemplo se ocorrer o problema de DC-shift, temática que será abordada na seção 2.5.4).

Ainda de acordo com a mesma Norma, na generalidade, a escolha do acelerómetro a usar na medição deverá ser feita de acordo com a magnitude esperada da vibração, da sua faixa de frequência, das características físicas da superfície a ser medida e das condições do ambiente circundante (temperatura, humidade e outros fatores ambientais).

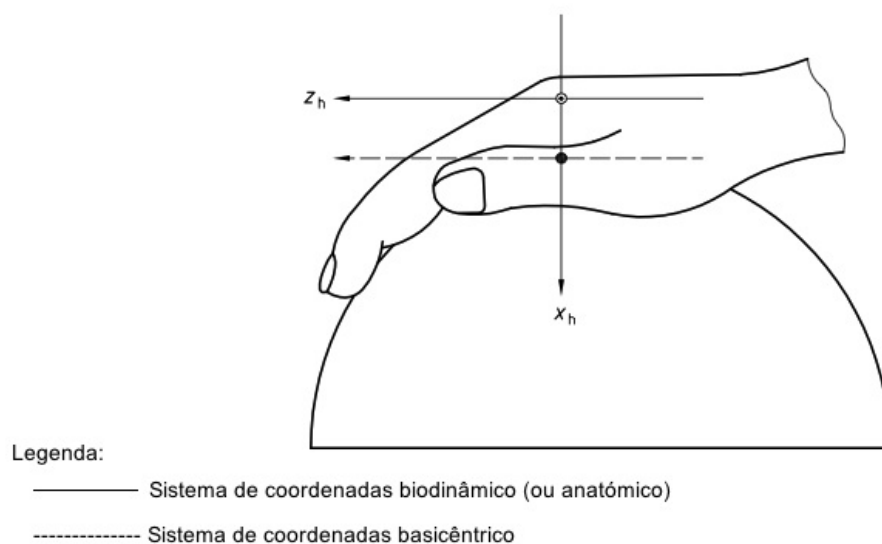
2.5.1 Localização do acelerómetro

As vibrações devem ser medidas na pega da ferramenta ou nas suas proximidades, onde a vibração é transmitida ao HAS. Preferencialmente, o acelerómetro deverá estar localizado na zona onde ocorre o aperto, uma vez que é esta a localização mais representativa do real valor de vibração absorvido pela mão. Contudo, deverá ter-se especial atenção à utilização do acelerómetro neste ponto uma vez que poderá interferir com a força de aperto normal usada pelo operador, com o acesso aos botões de comando da ferramenta (botões de segurança) e não deverá interferir com as respetivas cablagens (ISO 5349-2, 2002). No entanto, é possível fazer medições diretamente na pega da ferramenta (zona de aperto, imediatamente por baixo da mão) usando para o efeito adaptadores especiais. O anexo D da Norma ISO 5349-2 (2002) faz referência a alguns desses possíveis adaptadores, que se podem situar na zona abaixo da mão ou entre os dedos.

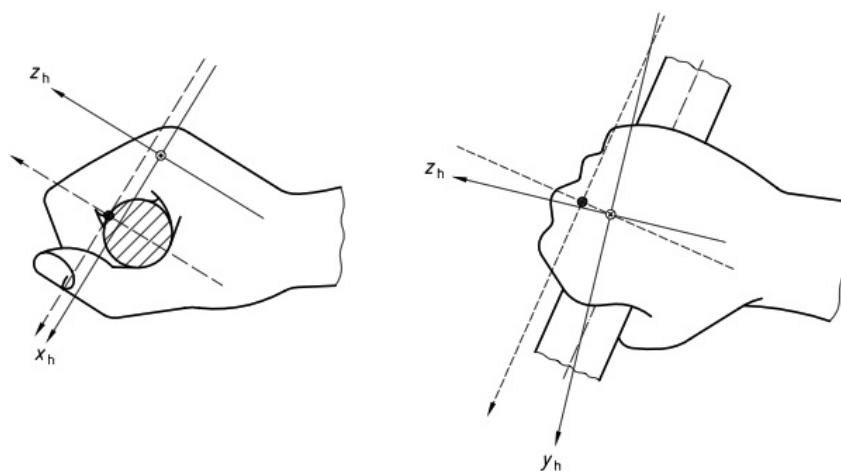
Também as dimensões do acelerómetro, segundo a Norma ISO 5349-1 (2001), terão que ser tais de modo a não interferirem com o manuseamento da ferramenta e de maneira a ser possível

identificar facilmente a localização do ponto de medição.

Constata-se que a grande maioria dos acelerómetros são tri-axiais de modo a ser possível medir a vibração nas três coordenadas ortogonais em simultâneo, de acordo com o sistema de coordenadas para a mão apresentado na figura 2.6.



(a) Sistema de coordenadas adotado quando a mão pressiona para baixo uma esfera



(b) Sistema de coordenadas adotado quando a mão aperta uma barra cilíndrica

Figura 2.6: Sistemas de coordenadas utilizados para medição da vibração no HAS (adaptado da Norma ISO 5349-1 (2001))

A figura 2.6 apresenta dois sistemas de coordenadas ortogonais. Segundo a Norma ISO 5805 (1997) estes apenas diferem na localização da origem. O sistema de coordenadas biodinâmico (ou anatómico) tem a sua origem no osso do terceiro metacarpo e uma orientação definida por marcos anatómicos, enquanto que o sistema de coordenadas basicêntrico tem a sua origem no ponto de contato com a superfície a partir da qual a vibração mecânica é transmitida para o

sistema mão-braço. Na prática, o sistema de coordenadas basicêntrico é o mais utilizado. A Norma ISO 5349-1 (2001) atribui também uma definição para cada uma das coordenadas ortogonais representadas na figura 2.6, as quais podem ser consultadas na tabela 2.3.

Tabela 2.3: Definição dos eixos ortogonais dos sistemas de coordenadas para a mão (retirado da Norma ISO 5349-1 (2001))

Eixo	Definição dos eixos
zz	Eixo longitudinal do osso do terceiro metacarpo, sendo orientado positivamente no sentido da extremidade dos dedos.
xx	Eixo perpendicular ao eixos dos zz e à superfície da palma sendo orientado positivamente no sentido para a frente quando a mão está na sua posição anatômica normal.
yy	Eixo perpendicular aos outros dois (segundo a direção da barra de pegar), sendo orientado positivamente no sentido do dedo polegar.

2.5.2 Fixação do acelerômetro

O acelerômetro deve ser rigidamente fixado à superfície vibratória. De acordo com a situação assim será escolhido o método de fixação do acelerômetro, tendo sempre em linha de conta que o seu posicionamento não interferirá com o manuseamento da ferramenta vibratória nem com as cablagens, que o operador consegue executar as tarefas normalmente e que o acesso aos botões de comando da ferramenta não estará obstruído. Alguns métodos estão descritos no anexo A da Norma ISO 5349-2 (2002).

Nos casos em que as pegadas das ferramentas são constituídas por (1) materiais resilientes; e por (2) materiais leves e flexíveis, alguns cuidados e recomendações devem ser tidos em consideração segundo a Norma ISO 5349-2 (2002):

1. Certos materiais resilientes podem amplificar a transmissão da vibração em determinadas frequências. A mesma Norma aponta algumas recomendações aquando da fixação do acelerômetro tais como: remover o material resiliente da área onde vai ser colocado o acelerômetro e fixar o acelerômetro com força suficiente de modo a comprimir completamente o material resiliente.
2. No caso das pegadas serem compostas por materiais leves e flexíveis (tais como os plásticos), poderão ocorrer deslocamentos involuntários do acelerômetro. Uma recomendação apontada por esta Norma é a utilização de adesivo para uma melhor fixação.

Na literatura consultada, a medição da aceleração da vibração emitida pelas ferramentas elétricas vibratórias é feita, segundo alguns autores e de acordo com a Norma ISO 5349-2 (2002), através da colocação do acelerómetro na pega das ferramentas (Aiello, Scalia, Vallone, Catania, & Venticinque, 2012; Cherng, Eksioglu, & Kizilaslan, 2009; Edwards & Holt, 2006; Hao, Mei, & Ripin, 2011).

No entanto, nem sempre os procedimentos da Norma são seguidos à regra. Por vezes a medição da aceleração da vibração é efetuada colocando o acelerómetro no punho e no cotovelo dos operadores, utilizando para uma melhor fixação do mesmo uma fita de velcro (Hartung, Dupuis, & Scheffer, 1993; Xu, Welcome, Warren, & Dong, 2009). Xu et al. (2009) contou ainda com o auxílio de fita adesiva para fixar as cablagens do acelerómetro ao braço do operador. Para Vergara et al. (2008), todo este "não cumprimento" da Norma pode ficar a dever-se ao fato de existirem algumas limitações quando o acelerómetro se encontra na pega da ferramenta, nomeadamente a necessidade de as modificar, conhecimento prévio da forma da pega e a redução da zona de preensão o que em alguns casos poderá afetar o manuseamento normal da ferramenta. É também de salientar que o mesmo autor utiliza para efeitos de medição de aceleração da vibração, a fixação do acelerómetro nos dedos indicador, médio ou anelar através de uma fita de velcro.

Nas medições feitas no HAS do operador (punho, ombro e cotovelo), alguns autores utilizam uma pequena chapa metálica ou de madeira onde é fixado o acelerómetro de modo a aumentar a superfície de contato com a pele e a evitar algumas vibrações entre o HAS e o acelerómetro (Dewangan & Tewari, 2008; R. G. Dong et al., 2003).

2.5.3 Origem de incertezas na medição de vibrações

São alguns os fatores que a Norma ISO 5349-2 (2002) aponta como responsáveis para a ocorrência de erros e problemas durante a medição das vibrações transmitidas ao sistema mão-braço. Destacam-se entre eles:

- Os problemas de conexão das cablagens entre o acelerómetro e os cabos de sinal;
- As interferências a nível elétrico, magnético e eletromagnético;
- A existência de cablagens soltas durante a medição das vibrações. Os cabos de sinal devem estar fixos à superfície vibratória, próximo do acelerómetro;
- A ocorrência de DC-shift.

2.5.4 DC-shift

A Norma ISO 5349-2 (2002) refere que quando os acelerómetros estão expostos a valores de intensidade de aceleração de vibração muito elevados e a frequências também elevadas, o sinal da vibração pode ficar distorcido e o fenómeno de DC-shift pode ocorrer. Este fenómeno surge no acelerómetro e acontece devido ao fato de que a aceleração num dado instante, poder ultrapassar o valor máximo suportado pelo acelerómetro.

O DC-shift pode ser detetado através de uma análise em frequência da vibração, nomeadamente em baixas frequências onde se verifiquem valores de vibração anormais. A Norma ISO 5349-2 (2002) fornece uma fórmula (equação 2.5) que poderá ajudar a avaliar se realmente ocorreu o efeito de DC-shift.

$$d = \frac{a}{(40f^2)} \quad (2.5)$$

Onde a representa a aceleração total não ponderada, d o deslocamento da massa em aceleração e f a frequência central da banda de frequências em análise. Se o deslocamento calculado (através da equação 2.5) for claramente superior (mais do dobro) ao valor do deslocamento observado diretamente no acelerómetro, então é muito provável que o fenómeno de DC-shift tenha ocorrido.

Este fenómeno é facilmente detetável pelo espectro da vibração em frequência, ao analisar os valores de vibração nas baixas frequências (inferiores a 50 Hz). No caso de se verificar o fenómeno de DC-shift, este irá afetar todo o sinal vibratório. Por esta razão, toda a medição efetuada com sinais de ocorrência de DC-shift deve ser ignorada.

Segundo a Norma ISO 5349-2 (2002), um modo de evitar a ocorrência de DC-shift nas medições feitas na pega da ferramenta, poderá passar pela inclusão de filtros mecânicos ao acelerómetro, pois sem estes poderá surgir o fenómeno de DC-shift (Tominaga, 2005). Em alguns casos esta inclusão poderá levar ao aumento da probabilidade de ocorrer DC-shift (Vergara et al., 2008). O anexo C da Norma ISO 5349-2 (2002) refere alguns desses possíveis filtros.

Para alguns autores, é possível evitar a ocorrência de DC-shift montando o acelerómetro na mão (Vergara et al., 2008), ou no punho (Xu et al., 2009) do operador. Xu et al. (2009) afirmam também que a ocorrência de DC-shift é o principal problema nas medições efetuadas nas pegadas das ferramentas, mas que tal não sucede quando as medições são efetuadas no cotovelo do operador.

Em alguns estudos de medições da vibração referidos na literatura, foi previamente verificada a existência do problema de DC-shift (R. G. Dong et al., 2003; Tominaga, 2005). R. G. Dong et

al. (2003) verificaram no seu estudo que a utilização de um filtro mecânico reduziu realmente o efeito de DC-shift. No entanto, o mesmo autor considera muito difícil atenuar por completo este efeito, utilizando um filtro mecânico, sem afetar a precisão das medições em altas frequências.

2.6 Valores de vibração declarados pelos fabricantes Vs valores reais

Tal como foi mencionado no final da seção 2.4.3, o valor total da vibração transmitida ao HAS por intermédio de uma ferramenta elétrica vibratória pode ser realizado através da medição e pelas informações pertinentes sobre o nível de vibrações correspondentes ao equipamento utilizado, geralmente fornecidas pelos fabricantes.

A Diretiva 98/37/CE da Comissão Europeia (1998) foi revista em 2006 e deu origem à Diretiva 2006/42/CE. Esta última define os requisitos essenciais de saúde e segurança para as máquinas vendidas na União Europeia, incluindo os requisitos específicos relativos à vibração (Griffin et al., 2009). A mesma Diretiva aponta também que é exigido a todos os fabricantes de máquinas que declarem informações (através do manual de instruções que acompanha a máquina) sobre as emissões de vibrações transmitidas ao nível da mão (Comissão Europeia, 2006; Griffin et al., 2009; Rimell et al., 2008) nomeadamente, o valor total das vibrações (a_{hv}) a que estão expostos os membros superiores, no caso de ser igual ou superior a $2,5 \text{ m.s}^{-2}$ (no caso de ser inferior a esse nível, esse facto deve ser mencionado). A incerteza da medição e as condições de funcionamento da ferramenta durante a medição assim como os métodos utilizados para a mesma também deve vir discriminados no manual de instruções da ferramenta (Comissão Europeia, 2006). Esses métodos são expressos por um código especificado na Norma ISO 8662 quando se trata de ferramentas pneumáticas e outras não elétricas e pela EN 60745 quando estamos perante ferramentas elétricas (Griffin et al., 2009; Rimell et al., 2008).

Os ensaios de medição do valor total de vibração são efetuados em contexto simulado de trabalho, isto é, em condições artificiais que por vezes não representam a realidade em matéria das vibrações emitidas no local de trabalho real, subestimando habitualmente o valor da aceleração da vibração emitido pelas ferramentas. Na prática, existe uma gama de diferentes valores de vibração total para uma mesma ferramenta, derivado do fato das ferramentas serem utilizadas em diferentes tipos de materiais (Rimell et al., 2008).

O relatório técnico CEN/TR 15350 fornece fatores multiplicativos que transformam os valores declarados pelos fabricantes naqueles que são efetivamente medidos através do método descrito

na Norma ISO 5349-1 (2001). Estes fatores são, na maioria dos casos, dependentes do tipo de ferramenta, como está explícito na tabela 2.4 (Griffin et al., 2009; Rimell et al., 2008).

Tabela 2.4: Fatores multiplicativos constantes no relatório técnico CEN/TR 15350 (2006) para algumas ferramentas

Ferramenta	Fator multiplicativo
Serra circular	1.5
Serra sabre	2.0
Martelo perfurador	2.0
Martelo pneumático	1.5

Este relatório técnico apresenta ainda dois pontos de capital importância:

- Se um determinado tipo de ferramenta não estiver listado no relatório técnico CEN/TR 15350 então, um fator multiplicativo de pelo menos 1.5 deverá ser aplicado;
- Se o fabricante declarar um valor de aceleração da vibração transmitida pela ferramenta inferior a $2,5 \text{ m.s}^{-2}$ então, o valor de $2,5 \text{ m.s}^{-2}$ deverá ser adotado.

Rimell et al. (2008) comparou os valores totais de vibração declarados pelos fabricantes das ferramentas com os valores realmente medidos em contexto real de trabalho em 105 modelos diferentes de ferramentas utilizadas frequentemente na indústria da construção.

Nomeadamente ao que este trabalho diz respeito, Rimell et al. (2008) concluiu que os fabricantes de serras elétricas subestimam os valores medidos em contexto real de trabalho. No entanto, os valores declarados relativamente às serras circulares são aproximadamente idênticos aos valores medidos.

Verificou-se que, em geral, os valores declarados pelos fabricantes subestimam a emissão de vibrações em contexto real de trabalho, enquanto que com a utilização dos fatores multiplicativos presentes no relatório técnico CEN/TR 15350, os valores declarados pelos fabricantes sobrestimam os valores totais de vibração no local de trabalho (Rimell et al., 2008).

2.7 Efeitos da vibração na saúde

Como referido, as vibrações no sistema mão-braço são um fator de risco dos problemas de saúde no contexto ocupacional.

Segundo a Norma ISO 5349-1 (2001), a exposição excessiva às vibrações transmitidas ao sistema mão-braço pode provocar distúrbios no fluxo sanguíneo dos dedos e nas funções

motoras e neurológicas do HAS, sendo que os operadores poderão vir a sofrer lesões neurológicas e/ou vasculares.

A utilização de ferramentas elétricas vibratórias é comum em várias profissões podendo variar na dimensão, no peso, na aceleração, na amplitude e na frequência (Gerhardsson et al., 2005). O uso prolongado deste tipo de ferramentas tem sido associado a uma série de lesões nos sistemas vascular, neurológico e musculo-esquelético do sistema mão-braço. Ao conjunto destas lesões é atribuído a designação de Síndrome de Vibração Mão-Braço (HAVS) (R. Dong et al., 2002; Gerhardsson et al., 2005; ISO 5349-1, 2001; Marcotte, Aldien, Boileau, Rakheja, & Boutin, 2005; Smutz et al., 2002).

Segundo Smutz et al. (2002) e Gerhardsson et al. (2005), os sintomas associados ao HAVS, podem incluir vasoespasmos nos dedos em resposta às baixas temperaturas (dedos brancos induzidos por vibração, VWF, tema que será abordado na secção 2.7.1), distúrbios neurosensoriais, fraqueza muscular, fadiga, dormência nas mãos e diminuição na força de apreensão.

Como afirma Marcotte et al. (2005) e de acordo com o Ministério do Trabalho e da Solidariedade Social (2006), o desenvolvimento do Síndrome de Vibração Mão-Braço depende de alguns fatores, tais como:

- O nível de vibrações produzidas pela ferramenta;
- A duração diária de exposição;
- O número acumulado de horas, meses ou anos de exposição;
- A temperatura no espaço do posto de trabalho;
- O método de trabalho do operador;
- A postura de trabalho do operador;
- A forma de preensão entre a pega e a mão do operador;
- A sensibilidade do operador às vibrações recebidas no HAS.

O HAVS é classificado como uma doença profissional e afeta um número indeterminado de operadores (Hao et al., 2011). A Norma ISO 5349-1 (2001) afirma ainda que é estimado que 1,7% a 3,6% dos operadores europeus e americanos estão expostos a vibrações no HAS potencialmente prejudiciais à sua saúde. Já Smutz et al. (2002) refere que entre 30% e 90% de todos os operadores expostos às vibrações no sistema mão-braço irão eventualmente

desenvolver uma lesão de HAVS. Em algumas normas europeias é referido que um operador exposto a vibrações diárias com um nível de $2,5 \text{ m.s}^{-2}$ por um período igual a 12 anos, tem 10% de probabilidade de desenvolver o Síndrome de Vibração Mão-Braço (Ministério do Trabalho e da Solidariedade Social, 2006).

Estas lesões resultam da exposição prolongada ou repetida de HAV, no entanto importa salientar que: (i) a exposição à vibração só por si não significa que surjam necessariamente problemas de saúde; (ii) alguns sintomas de HAVS existem na população independentemente de haver ou não exposição à vibração; (iii) outros fatores (não relacionados com o trabalho) podem constituir sintomas de HAVS (Edwards & Holt, 2006).

Com base na literatura consultada julga-se serem relevantes as seguintes considerações:

- Através de estudos efetuados verificou-se que o período médio de latência para sintomas vasculares é de 19,7 anos e para sintomas neurológicos de 19,1 anos (McGeoch & Gilmour, 2000). Ainda em investigações levadas a cabo pelos mesmos autores, observou-se que 62% dos operadores apresentavam sintomas neurológicos, ao passo que 33% apresentavam sintomas vasculares.
- Palmer et al. (2001), com base nos seus estudos, concluíram que 10% dos trabalhadores do setor da construção apresentavam sintomas vasculares (episódios de branqueamento dos dedos) e 14% sintomas neurológicos. Outra conclusão relevante da investigação feita por estes autores, é que tanto os sintomas vasculares como os neurológicos estão diretamente associados aos hábitos de tabagismo dos operadores, relatos de dores de cabeça, sensações de cansaço ou stress e à exposição a vibrações fora do horário de trabalho laboral.

De seguida apresentam-se quatro grandes grupos de lesões originadas pela exposição a vibrações no sistema mão-braço.

2.7.1 Lesões vasculares

Segundo a Norma ISO 5349-1 (2001), as doenças vasculares são caracterizadas pela palidez ou cor esbranquiçada dos dedos, geralmente desencadeados pela exposição ao frio e devido à abolição temporária da circulação de sangue para os dedos. Este distúrbio é chamado de Fenómeno de Raynaud (depois de Maurice Raynaud, médico francês, o ter descrito pela primeira vez em 1862). Acredita-se que a vibração pode perturbar a circulação do sangue nos dedos tornando-a mais sensível pela ação vasoconstritora na presença de frio. Vários sinónimos

têm sido utilizados para descrever doenças vasculares tais como: doença do dedo morto ou branco, Fenómeno de Raynaud de origem profissional, doença vasospástica traumática e, mais recentemente, dedos brancos induzidos por vibração (VWF). Sendo que VWF é uma doença profissional em muitos países. A figura 2.7 ilustra alguns exemplos de mãos de operadores com VWF.



(a) Exemplo 1



(b) Exemplo 2



(c) Exemplo 3



(d) Exemplo 4

Figura 2.7: Exemplos de mãos de operadores com VWF (fonte: <http://drugline.org/medic/term/vibration-white-finger/>)

Inicialmente, o branqueamento aparece nas pontas de um ou mais dedos, mas com a continuada exposição à vibração o branqueamento pode estender-se até à base dos dedos. Por vezes o branqueamento é seguido de cianose, isto é, uma coloração azulada dos dedos afetados devido ao aumento da extração de oxigénio existente na lenta circulação do sangue nos dedos. Na fase de recuperação, geralmente acelerada pelo calor ou massagem local, poderá surgir vermelhidão, eventualmente associada a formigueiro e/ou dor nos dedos afetados como resultado de um aumento do fluxo sanguíneo nos vasos cutâneos. Este tipo de lesões são mais comuns no inverno do que no verão e podem durar desde poucos minutos até várias horas. Se a exposição à vibração for contínua então estas lesões podem ocorrer durante todo o ano e nos casos mais avançados, embora raros, podem provocar alterações tróficas (úlceras ou gangrena) na pele das pontas dos dedos. Durante a lesão os operadores podem adotar uma completa

perda de sensação ao toque e destreza na manipulação das ferramentas, o que pode interferir com a atividade de trabalho, aumentando assim o risco de lesões graves devido a acidentes.

Segundo dados estatísticos da Eurostat, o Fenómeno de Raynaud ocupava o quinto lugar na lista de doenças profissionais mais comuns no ano de 2001, com um número total de 3 120 casos (num total de 31 945 novos casos de doenças profissionais confirmados pelas autoridades nacionais nesse ano) reconhecidos em seis dos doze Estados-Membros europeus (Bélgica, Dinamarca, Espanha, Irlanda, Itália, Luxemburgo, Holanda, Áustria, Portugal, Finlândia, Suécia e Reino Unido). Mais de 99% dos casos ocorreram em homens e 81% no setor do minério e pedreiras, seguido pela indústria de transformação (8%) e construção civil (6%) (Karjalainen & Niederlaender, 2004).

A avaliação ao risco de VWF é complicada devido ao grande número de fatores (descriminados na seção 2.7) que estão envolvidos no desenvolvimento da lesão (Gerhardsson et al., 2005).

Uma série de estudos epidemiológicos realizados na década de 1960 e início de 1970 referem uma prevalência elevada (entre 40% e 90%) de VWF em trabalhadores florestais que utilizam motosserras com uma aceleração total de vibração na ordem dos $10\text{-}25\text{ m.s}^{-2}$. Estudos posteriores durante os anos de 1980 e 1990, mostraram uma diminuição gradual da incidência e prevalência de VWF, devido ao fabrico de motosserras com um valor de aceleração total de vibração mais reduzido e às medidas administrativas tomadas para reduzir a duração total de exposição às vibrações (Gerhardsson et al., 2005).

Foram desenvolvidos vários sistemas de classificação dos vários estados do VWF na medicina do trabalho. A escala numérica proposta no Workshop de Estocolmo em 1986 é um sistema de classificação reconhecido internacionalmente para classificar o Fenómeno de Raynaud e é também ela uma das mais utilizadas. Esta escala consiste em quatro fases, de acordo com a extensão, frequência e gravidade das lesões do VWF e está descrita na tabela 2.5.

2.7.2 Lesões neurológicas

As lesões neurológicas resultam de danos no sistema nervoso, sendo caracterizadas por formigueiro, dormência e pela perda de força de preensão. Existem também outros sintomas que podem contribuir para um decréscimo da força e destreza, tais como a dor e o inchaço nas mãos e antebraços do operador, tudo isto especialmente na mão dominante (Edwards & Holt, 2006; Falkiner, 2003).

Tabela 2.5: Escala numérica proposta no Workshop de Estocolmo para classificação dos vários estados do VWF (adaptado da Norma ISO 5349-1 (2001))

Estado	Grau	Sintomas
0	-	Inexistência de lesões
1 _V	Leve	Lesões ocasionais que afetam apenas as pontas de um ou mais dedos
2 _V	Moderado	Lesões ocasionais que afetam as falanges distais e médias (raramente as proximais) de um ou mais dedos
3 _V	Severo	Lesões frequentes que afetam todas as falanges da maioria dos dedos
4 _V	Muito severo	Tal como na fase 3, com alterações tróficas na pele dos dedos

Segundo a Norma ISO 5349-1 (2001), se a exposição à vibração for contínua, estes sintomas tendem a piorar e podem interferir com a capacidade de trabalho e atividades da vida. Um outro efeito nocivo da vibração transmitida ao HAS é a redução da sensibilidade nas extremidades dos dedos. Em estudos epidemiológicos realizados a operadores expostos à vibração, constatou-se que a prevalência de lesões neurológicas varia de uma pequena percentagem até mais de 80% dos indivíduos presentes num grupo de trabalhadores.

A classificação para a componente neurológica do HAVS foi também ela proposta no Workshop de Estocolmo em 1986 e consiste em três fases, como está representado na tabela 2.6. Esta classificação é feita de acordo com os sintomas apresentados, com os resultados de exames neurológicos e testes psicofísicos tais como a percepção tátil à vibração e a precisão da manipulação.

Tabela 2.6: Escala numérica proposta no Workshop de Estocolmo para classificação dos vários estados das lesões neurológicas provocadas por vibrações (adaptado da Norma ISO 5349-1 (2001))

Estado	Sintomas
0 _{SN}	Exposição a vibrações mas inexistência de sintomas
1 _{SN}	Dormência intermitente com ou sem formigueiro
2 _{SN}	Dormência intermitente ou persistente com redução da percepção sensorial
3 _{SN}	Dormência intermitente ou persistente com redução da discriminação tátil e/ou destreza na manipulação

Alguns autores afirmam que tendo um conhecimento prévio do historial da exposição do operador à vibração é possível estimar mais concretamente em que estado (ao nível neurológico e também vascular) se encontra o operador (McGeoch & Gilmour, 2000).

Os operadores expostos às vibrações podem muitas vezes apresentar sinais e sintomas de neuropatias, como é o caso do Síndrome do Túnel Cárpico (CTS), que consiste numa lesão

devido à compressão do nervo mediano que passa através do canal anatômico do punho. A figura 2.8 apresenta uma ajuda visual deste tipo de lesão.

À semelhança do Fenómeno de Raynaud, também o Síndrome do Túnel Cárpico foi reconhecido como uma doença profissional, desta feita em três dos doze Estados-Membros europeus. Segundo dados estatísticos da Eurostat, ocupou no ano de 2001 a sexta posição em matéria de doenças profissionais mais comuns com um total de 2 483 casos (num total de 31 945 novos casos de doença profissional confirmados pelas autoridades nacionais nesse ano). Cerca de 53% dos casos ocorreram em homens e 42% no setor industrial (Karjalainen & Niederlaender, 2004).



Figura 2.8: Ilustração alusiva à lesão do Síndrome do Túnel Cárpico (fonte: http://www.susmedicos.com/0_Articulos_General/art_Tunel_del_Carpo.htm)

Acredita-se que os movimentos repetidos, uma força de preensão elevada e posturas de trabalho ergonomicamente incorretas, combinados com a vibração podem causar o CTS em operadores que manipulam ferramentas vibratórias (ISO 5349-1, 2001).

Ao contrário do HAVS, o CTS é mais comum nas mulheres do que nos homens, com uma proporção de 3:1, em operadores expostos à vibração (Falkiner, 2003).

2.7.3 Lesões músculo-esqueléticas

Neste grupo de lesões provocadas pela exposição dos operadores às vibrações podem distinguir-se dois subgrupos.

Lesões musculares

Segundo a Norma ISO 5349-1 (2001), as lesões musculares de operadores com exposição prolongada à vibração apresentam como sintomas a dor nas mãos e braços, a diminuição da força muscular e a redução da força de preensão. Existem ainda outras lesões relacionadas com o trabalho às quais os operadores expostos à vibração podem eventualmente estar sujeitos, tais como tendinites e tenossinovites (isto é, a inflamação dos tendões e suas bainhas) nos membros superiores. Estes distúrbios podem ser atribuídos aos efeitos do pesado trabalho manual que muitas vezes acompanha a exposição à vibração no HAS (Falkiner, 2003).

Lesões esqueléticas

Estudos radiológicos revelaram uma alta prevalência de vacúolos e quistos nos ossos da mão e do punho de operadores expostos à vibração. No entanto, investigações mais recentes têm mostrado que não existe um aumento significativo em operadores que não estejam expostos à vibração. Segundo a Norma ISO 5349-1 (2001), verifica-se uma elevada ocorrência de artroses e ossificações no punho e cotovelo em mineiros, trabalhadores de construção de estradas e operadores de metalúrgica expostos a choques e vibrações de baixa frequência (inferior a 50 Hz) mas de alta magnitude. No entanto, existe pouca evidência de um aumento da prevalência de lesões degenerativas dos ossos e articulações dos membros superiores dos operadores expostos a vibrações de alta frequência. Alguns autores concluíram isso mesmo nas suas investigações. Relatam que exposições a vibrações com baixas frequências têm um maior impacto nos músculos do antebraço do que exposições a vibrações com frequência na ordem dos 137 Hz (Kihlberg, Attebrant, Gemne, & Kjellberg, 1995).

O pesado esforço físico, uma elevada força de apreensão e outros fatores biomecânicos podem ser responsáveis pela maior ocorrência de lesões ósseas encontradas em operadores expostos a vibrações. Dor local, inchaço, rigidez articular e deformações ósseas podem estar associadas a osteoartrites presentes nos ossos e nas articulações (ISO 5349-1, 2001).

2.7.4 Outras lesões

Alguns estudos indicam que operadores afetados com VWF possuem uma perda auditiva superior ao que seria de esperar com base no envelhecimento e exposição ao ruído de ferramentas vibratórias. Estes operadores podem ter um risco adicional devido à vasoconstrição dos vasos sanguíneos que abastecem a audição do ouvido interno, induzida pela vibração.

Além dos distúrbios periféricos, outros efeitos adversos à saúde que envolvem o sistema endócrino e o sistema nervoso central dos operadores expostos à vibração (como por exemplo a fadiga persistente, as dores de cabeça, a irritabilidade, os distúrbios de sono, a impotência e as anomalias eletroencefalográficas) têm sido descritos por investigadores russos e japoneses (ISO 5349-1, 2001).

2.8 Prevenção

O Artigo 6.º do Decreto-Lei n.º 46/2006 presta particular atenção à prevenção de lesões causadas pelas vibrações no HAS com vista a reduzir a exposição dos operadores aos fatores nocivos daí provenientes (Ministério do Trabalho e da Solidariedade Social, 2006).

Se ao avaliar o posto de trabalho do operador se verificar que os valores de ação de exposição foram ultrapassados, é necessário que sejam implementadas medidas técnicas (ou de engenharia), organizacionais ou que seja utilizado o Equipamento de Proteção Individual (EPI) de maneira a reduzir ao mínimo a exposição dos operadores, muito embora a primeira opção de controlo a ser considerada seja sempre a eliminação da vibração.

2.8.1 Medidas técnicas ou de engenharia

O programa de medidas técnicas de prevenção tem como principal objetivo a eliminação ou redução da vibração transmitida ao HAS na fonte. De acordo com o Ministério do Trabalho e da Solidariedade Social (2006), no referido programa destacam-se os seguintes aspetos:

- Métodos de trabalho alternativos que permitam reduzir a exposição a vibrações mecânicas;
- Escolha de ferramentas elétricas vibratórias bem concebidas ergonomicamente e que produzam o mínimo de vibração possível;
- Utilização, sempre que possível, de equipamentos auxiliares que reduzam a vibração transmitida ao HAS;
- Programas adequados de manutenção do equipamento e do local de trabalho;
- Concepção, disposição e organização do local de trabalho.

2.8.2 Medidas administrativas

Segundo o Ministério do Trabalho e da Solidariedade Social (2006), é presumível que as lesões derivadas da exposição à vibração durante longos períodos de tempo possam ser reduzidas se forem, sobretudo, evitadas. Porém, importa realçar outras medidas administrativas preventivas da exposição à vibração no HAS, tais como:

- A existência de informação e formação adequada dos trabalhadores para a utilização correta e segura das ferramentas elétricas vibratórias;
- A limitação da duração e da intensidade da exposição;
- Os horários de trabalho adequados, incluindo períodos de descanso apropriados.

2.8.3 EPI

Os equipamentos de proteção individual contra as vibrações transmitidas ao sistema mão-braço podem contribuir para o programa de medidas referidas nas seções 2.8.1 e 2.8.2.

Este tema não irá ser aprofundado nesta seção uma vez que será abordado em maior detalhe na seção 2.9.

2.9 Utilização de EPI como meio de proteção

Sempre que possível deverá ser fornecido aos operadores expostos à vibração equipamentos apropriados de proteção individual, nomeadamente luvas anti-vibratórias. Desta forma, é de todo o interesse que fiquem registados alguns aspetos considerados relevantes para o desenvolvimento deste trabalho relativos a esta temática e que estejam de acordo com a literatura consultada.

2.9.1 Atual papel das luvas anti-vibratórias

Embora as luvas anti-vibratórias sejam necessárias para proteger os operadores de lesões no sistema mão-braço (altas temperaturas, cortes, furos, vibração, etc), elas também possuem efeitos adversos no que diz respeito ao tempo de realização da tarefa, à sensibilidade, destreza, força de preensão e à amplitude de movimento do operador (Chang, Wang, & Lin, 1999; Fleming, Jansen, & Hasson, 1997; Larivière et al., 2004). O fato de que as luvas anti-vibratórias muitas

vezes prejudicam o desempenho e a produtividade, torna os operadores menos receptivos à sua utilização e, conseqüentemente, mais susceptíveis a lesões (Larivière et al., 2004).

As luvas anti-vibratórias, embora não sejam um meio de proteção suficiente para as vibrações transmitidas ao HAS, podem reduzir a exposição à vibração e, ao manterem as mãos quentes e secas, contribuem para limitar alguns efeitos das vibrações (Ministério do Trabalho e da Solidariedade Social, 2006).

Alguns autores referem que a utilização de luvas anti-vibratórias pode, em alguns casos, aumentar o risco de lesões e acrescentam ainda alguns tipos de materiais de que poderão ser feitas, tais como: couro, algodão, borracha, nylon, látex, metal e em combinações dos mesmos (Muralidhar, Bishu, & Hallbeck, 1999).

Independentemente do design da luva anti-vibratória, o seu material de fabrico assume um papel preponderante na função de proteção às vibrações, assim como a espessura desse mesmo material, que está diretamente relacionada com a proteção do HAS à vibração. Constatase que o tipo de material e a sua respetiva espessura têm um efeito direto no desempenho do operador. Infelizmente, os fatores que aumentam a proteção do HAS, diminuem o desempenho do operador (Muralidhar et al., 1999).

As propriedades visco elásticas são também responsáveis por garantir uma boa performance das luvas anti-vibratórias, assim como a dimensão da mão do operador, o ajuste da luva anti-vibratória à mão, as características individuais do operador e a postura do braço do operador (Dewangan & Tewari, 2008; R. G. Dong, McDowell, Welcome, & Smutz, 2005; Muralidhar et al., 1999; Rakheja, Dong, Welcome, & Schopper, 2002). Relativamente a este último aspeto, alguns autores referem que, um ângulo maior do cotovelo do operador provoca mais facilmente uma transmissão das vibrações ao longo de todo o sistema mão-braço (Rohmert, Wos, Norlander, & Helbig, 1989).

Importa também realçar que, para R. G. Dong, McDowell, et al. (2005), uma luva pode ser considerada como uma verdadeira luva anti-vibratória quando testada num determinado grupo de operadores e a mesma luva não surtir qualquer efeito de atenuação da vibração quando testada num grupo distinto de operadores.

A eficácia das luvas anti-vibratórias tem sido obtida quase que exclusivamente através da medição da transmissibilidade da vibração (R. G. Dong, McDowell, et al., 2005).

Smutz et al. (2002) definem transmissibilidade como sendo a quantidade de vibração transmitida através das luvas anti-vibratórias, medida desde a superfície da pega da ferramenta elétrica até ao acelerómetro colocado no HAS do operador.

Existem algumas discrepâncias consideráveis entre valores de transmissibilidade medidos

em laboratório (condições standardizadas) e os valores medidos em contexto real de trabalho. Estas podem ser atribuídas a diferentes métodos de medição e condições experimentais, tais como (Adewusi, Rakheja, Marcotte, & Boutin, 2010; Welcome, Dong, Xu, Warren, & McDowell, 2012):

- Localização do acelerómetro;
- Direção e magnitude da aceleração da vibração;
- Intervalo de frequência considerado;
- Força de preensão;
- Postura do operador;
- Características individuais dos operadores;
- Diâmetro da pega da ferramenta elétrica.

Hewitt (1998), através da sua investigação, estipula também a contribuição de alguns fatores para a incerteza nas medições da transmissibilidade, de acordo com a tabela 2.7

Tabela 2.7: Variação nas medições da transmissibilidade derivada da influência de alguns fatores (Hewitt, 1998)

Variável	Variação aproximada nas medições da transmissibilidade
Deslocamento do acelerómetro	$\pm 20\%$
Variabilidade no próprio operador	$\pm 5\%$
Variabilidade entre operadores	$\pm 10\%$
Monitorização apenas da força de empurrar	$\pm 4\%$
Magnitude da vibração	$\pm 3\%$
Temperatura	$\pm 4\%$

De notar ainda que, segundo Adewusi et al. (2010) a transmissibilidade da vibração tende a diminuir com o aumento da distância entre o local do acelerómetro e a fonte da vibração.

Na literatura consultada verificou-se que as luvas anti-vibratórias, no que diz respeito à proteção do HAS alusivamente à vibração, se comportam da seguinte forma (R. Dong et al., 2002; R. G. Dong, McDowell, et al., 2005; Rakheja et al., 2002; Smutz et al., 2002):

- Atenuam a vibração recebida no HAS quando exposto a altas frequências (acima de 100 Hz);

- Ampliam a vibração recebida no HAS quando exposto a baixas frequências (abaixo de 100 Hz).

Para Griffin (1998a) e Rakheja et al. (2002), a eficácia das luvas anti-vibratórias depende do espectro de vibração obtido na superfície da pega da ferramenta elétrica, da transmissibilidade da luva anti-vibratória e dos valores eficazes de aceleração ponderada em frequências susceptíveis de poder provocar lesões. Esta temática será abordada em maior detalhe na seção 2.9.2.

2.9.2 Métodos de avaliação da eficácia das luvas anti-vibratórias e principais limitações

Os métodos de avaliação laboratoriais envolvem essencialmente a medição da vibração na interface da luva anti-vibratória e de uma pega criada em contexto laboratorial, e da vibração transmitida à interface entre a luva anti-vibratória e a mão do operador em posturas de trabalho controladas (Rakheja et al., 2002). Os mesmos autores referem ainda que as diferenças nos pontos de medição e nos métodos não permitem uma comparação quantitativa dos resultados relatados. Os estudos já realizados concluíram que a maioria das luvas atenua a vibração a frequências superiores a 100 Hz e amplificam a vibração a frequências mais baixas.

A transmissibilidade das luvas anti-vibratórias aumenta significativamente quando os valores de aceleração ponderada em frequência são considerados, devido à tendência das luvas para amplificar a vibração nas frequências mais baixas, em que o fator de ponderação é próximo da unidade (Rakheja et al., 2002).

Ao reconhecer a falta de uniformidade dos métodos de medição e avaliação, a *International Standard Organization* (ISO) estabeleceu um método de teste de laboratório para avaliar o desempenho das luvas anti-vibratórias, conhecido pela Norma ISO 10819 (1996).

O método de teste envolve a medição da vibração transmitida através da luva. Tal procedimento é feito usando uma pega cilíndrica orientada verticalmente (com 40mm de diâmetro e 110mm de comprimento) e montada num agitador horizontal, preparada para medir a força de preensão e de empurrar do operador. A força de preensão é estipulada nos $30\text{N} \pm 5\text{N}$ e a força de empurrar nos $50\text{N} \pm 8\text{N}$. Estando o operador em pé, o seu antebraço deve ser mantido horizontal e paralelo à direção da vibração, enquanto o punho poderá formar um ângulo entre os 0° (posição neutra) ou 40° (flexão) de acordo com a figura 2.9.

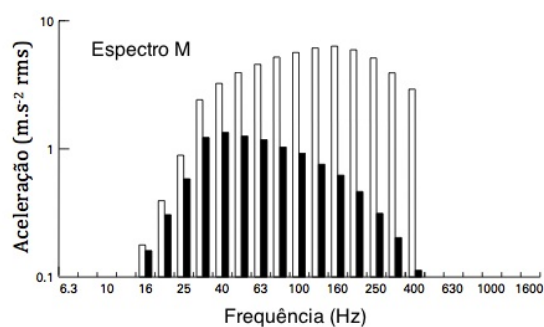
A Norma ISO 10819 (1996) define um procedimento para determinar em que medida dois espectros de vibração diferentes são transmitidos, através de uma luva, para a mão. Os espectros mencionados são denominados por espectro M (espectro de médias frequências - 16 Hz a 400



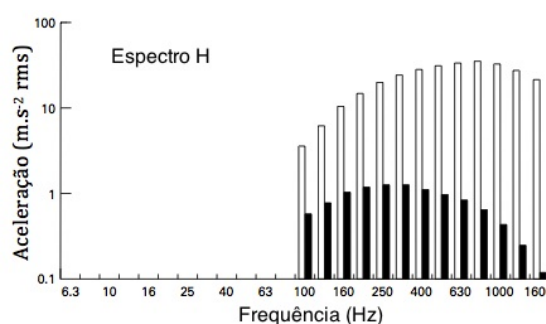
Figura 2.9: Montagem utilizada para testar a transmissibilidade da vibração de luvas anti-vibratórias de acordo com a Norma ISO 10819 (1996)

Hz) e espectro H (espectro de altas frequências - 100 Hz a 1600 Hz).

A figura 2.10 mostra ambos os espectros antes e depois da aplicação dos fatores de ponderação apresentados na seção 2.4.1. Embora o espectro da aceleração não ponderada em frequência esteja definido de 16 Hz a 400 Hz (para o espectro M) e de 100 Hz a 1600 Hz (para o espectro H), a extensão da vibração no espectro de aceleração ponderada em frequência pode ser considerada apenas no intervalo de 25 Hz a 200 Hz (para o espectro M) e de 100 Hz a 1000 Hz (para o espectro H).



(a) Espectro M



(b) Espectro H

Figura 2.10: Bandas de um terço de oitava do espectro M e do espectro H (barras vazias - valores eficazes de aceleração não ponderada em frequência; barras preenchidas - valores eficazes de aceleração ponderada em frequência) adaptado de Griffin (1998a)

Para a mesma Norma, em ambos os espectros, a transmissibilidade da vibração é calculada através da medição da aceleração da vibração ponderada em frequência na pega (anteriormente mencionada) e no interior da luva anti-vibratória, através de um adaptador para a palma da mão colocado na interface entre a mão e a luva e, equipado com um acelerômetro simples, isto é, que

mede a aceleração segundo um único eixo.

A transmissibilidade (TR), é calculada através de uma expressão que entra em conta com os valores medidos das acelerações da vibração (após a aplicação dos fatores de ponderação especificados na Norma ISO 5349-2 (2002)). Esta expressão é apresentada pela equação 2.6.

$$TR = \frac{\text{Aceleração medida na interface mão-luva}}{\text{Aceleração medida na pega}} \quad (2.6)$$

Segundo a Norma ISO 10819 (1996), para uma luva ser considerada anti-vibratória terá que respeitar, simultaneamente, os seguintes critérios:

- $TR_M < 1,0$
- $TR_H < 0,6$

Estes requisitos significam que, para a gama de médias frequências, não se espera que a luva atenua a vibração, no entanto, o efeito global da luva não deve ampliar a vibração. Para a gama de altas frequências, o efeito global da luva deve reduzir a vibração transmitida em pelo menos 40%.

A mesma Norma refere ainda que, para além destes requisitos de redução da vibração para a palma da mão, a luva deverá possuir o mesmo tipo de material e respetiva espessura nos dedos e na palma da mão.

Rakheja et al. (2002) e Griffin (1998a) apontam algumas limitações para este método. Estes autores afirmam que não é possível prever o desempenho das luvas anti-vibratórias na diminuição da vibração, aquando da utilização de uma ferramenta elétrica específica, uma vez que os espetros de diferentes ferramentas elétricas diferem consideravelmente dos espetros M e H idealizados. As medidas e critérios baseados na TR_M e TR_H não podem, portanto, ser invocadas para uma avaliação geral do desempenho das luvas ou dos seus efeitos benéficos. A avaliação da performance das luvas no que respeita ao isolamento da vibração requiere que as medições sejam feitas em contexto real de trabalho (postura, forças de preensão e de empurrar) ou em laboratório sob espetros de vibração representativos das condições reais de trabalho.

Outra limitação apresentada pela Norma ISO 10819 (1996), e apontada por Griffin (1998a), refere que o procedimento definido na Norma indica apenas a transmissibilidade da vibração para a palma da mão, não sendo por isso conhecido o efeito que a luva poderá causar nos dedos, onde as lesões induzidas pela vibração são mais frequentemente encontradas. Assim, as luvas anti-vibratórias podem reduzir a magnitude da vibração transmitida para a palma da

mão (de acordo com a Norma ISO 10819 (1996)), mas não têm nenhum efeito benéfico onde as lesões são obtidas (Griffin, 1998a).

O mesmo autor refere ainda outra limitação à Norma ISO 10819 (1996). Quando o adaptador para a palma da mão é colocado dentro da luva, não é visível para quem está a realizar a experiência, se este está, ou não, alinhado com o eixo de vibração. Qualquer erro de alinhamento vai reduzir o valor de aceleração da vibração medido dentro da luva e, consequentemente, dar origem a valores mais baixos de TR_M e TR_H . Erros na ordem dos 30° podem facilmente ocorrer, reduzindo a transmissibilidade medida em mais de 15%.

O deslocamento do adaptador pode dever-se a três fatores (Welcome et al., 2012): (i) ao seu desvio geométrico em relação à pega da ferramenta elétrica, (ii) à deformação desigual da luva por baixo do adaptador, submetida a uma pressão desigualmente distribuída na área de contato da palma da mão e do adaptador, e (iii) à espessura não uniforme da luva por baixo do adaptador, devido ao enrugamento dos materiais durante a ação de aperto.

Hewitt (1998) constatou que, durante os procedimentos o adaptador da palma da mão poderá estar, no máximo, 40° desalinhado com o sentido da vibração, sendo que esta situação poderá resultar num decréscimo da transmissibilidade na ordem dos 20%.

Um dos métodos sugeridos para reduzir o deslocamento consiste em abrir uma costura entre o polegar e o dedo indicador de modo a que o adaptador fique com uma porção visível e, assim, ser alinhado apropriadamente (Hewitt, 1998; Welcome et al., 2012). No entanto, esta pode não ser uma opção viável, uma vez que para além do buraco feito na luva poder alterar as propriedades da própria luva, as luvas utilizadas em testes são emprestadas por trabalhadores aos quais as luvas têm de ser posteriormente devolvidas em bom estado (Hewitt, 1998).

Um método diferente de redução do deslocamento do adaptador é proposto por Smutz et al. (2002) e Welcome et al. (2012). Estes autores propõem que o acelerómetro uni-axial seja substituído por um acelerómetro tri-axial, de maneira a que a aceleração da vibração obtida nos dois eixos adicionais possa ser utilizada para determinar a extensão do deslocamento do adaptador. Se esta informação for fornecida no tempo real das avaliações, o adaptador poderá ser ajustado de modo a minimizar o deslocamento.

Capítulo 3

Metodologia de Investigação

3.1 Enquadramento da metodologia de investigação

A investigação inerente ao presente trabalho teve por base a realização de um estudo que diz respeito à medição das vibrações emitidas por duas ferramentas elétricas e por sua vez transmitidas ao HAS dos operadores, com e sem luvas anti-vibratórias. Para o desenvolvimento deste trabalho, foi então necessário criar dois grupos de medições: vibração nas ferramentas e vibração no punho dos operadores.

De maneira a que o presente estudo fosse viável, houve a preocupação de reunir, em laboratório, condições reais de trabalho. Embora a metodologia utilizada esteja descrita em pormenor na seção 3.4, fazer-se-á de seguida, uma breve descrição de cada um dos grupos de medição para que posteriormente haja um melhor encadeamento de ideias e consequentemente uma melhor compreensão.

Vibração nas ferramentas

Este estudo, diz respeito à medição da vibração emitida pela ferramenta elétrica (através da pega). Para tal, o acelerómetro foi colocado na pega de cada uma das ferramentas (figura 3.1), utilizadas em contexto real de trabalho e de acordo com a Norma ISO 5349-2:2001, de maneira a contabilizar o valor da aceleração da vibração emitida. Para este estudo foi utilizada uma pequena parcela do número de operadores que constituíram a amostra populacional relativa ao projeto.

Vibração no punho dos operadores

Neste grupo, composto pela maioria da amostra, foi efetuada a medição da vibração recebida no HAS, através da colocação do acelerómetro no punho do operador por

intermédio de um adaptador fixado ao punho com o auxílio de uma fita de velcro (figura 3.1).

Um cuidado especial relativo à pressão exercida pela fita de velcro no punho do operador foi tido em conta. A fita foi apertada o suficiente para evitar movimentos indesejáveis do acelerómetro, permitindo no entanto, um livre fluxo de sangue e garantindo o conforto dos operadores.



(a) Acelerómetro no Multicutter



(b) Acelerómetro no Sabre-Saw



(c) Acelerómetro no punho do operador

Figura 3.1: Localização da fixação do acelerómetro em cada uma das ferramentas elétricas manuais e no punho do operador

Importa referir ainda nesta seção que, em ambos os grupos de medições foram realizadas duas tarefas manuais com ferramentas elétricas profissionais de corte em contexto real de trabalho. Tratam-se das seguintes tarefas:

Tarefa 1: Serrar um bloco de madeira fixo através de um grampo;

Tarefa 2: Serrar uma barra cilíndrica de ferro fixa através de dois grampos.

Como é sabido, o objetivo principal desta investigação consiste em avaliar a utilização de luvas anti-vibratórias em contexto real de trabalho. Desta forma, será de esperar que existam diferenças intra-operadores (ou seja, quando o mesmo operador realiza tarefas distintas) e entre-operadores (para a mesma tarefa), o que pode ser explicado derivado aos seguintes fatores:

- Velocidade de execução das tarefas;
- Forma de pegar nas ferramentas elétricas manuais;
- Distribuição desigual do esforço entre as duas mãos;
- Diferenças entre métodos e técnicas de trabalho;
- Heterogeneidade existente nas propriedades (por exemplo, rigidez) dos materiais (blocos de madeira e barras de ferro) utilizados para a execução das tarefas.

Um outro aspecto a referir diz respeito ao fato de todas as metodologias de investigação adoptadas terem sido previamente testadas por uma *test person*.

3.2 Equipamentos, ferramentas e materiais

Todos os equipamentos, ferramentas e materiais utilizados no âmbito desta dissertação pertencem ao Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial da Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa, nomeadamente ao laboratório de Ergonomia e estão apresentados de seguida.

3.2.1 Equipamentos

Derivado da precisão e da sensibilidade necessárias para a realização desta investigação, foram utilizados também eles, os seguintes equipamentos de grande rigor e delicadeza:

- Acelerómetro triaxial, modelo 3023A2, 10m V/g, 4 gramas, marca *Dytran Instruments, Inc.*;
- Leitor e gravador de sinais de vibração VI-410 PRO com análise em frequência em tempo real, marca *Quest Technologies*, que obedece às especificações das Normas ISO 8041:2005, ISO 5349-1,2:2001, ISO 2631-1,2:2003, ISO 10816 e IEC 61672-1;
- Computador portátil marca *Accer*, modelo *Aspire 1350*, com o software *QuestSuite Professional II (QSP-II)* instalado;
- Máquina fotográfica marca *Canon*, modelo PC1048;
- *Humidity and Temperature Indicator*, marca *Vaisala*;
- *Hand Dynamometer*, marca *Lafayette Instruments Co*, modelo 78010.

3.2.2 Ferramentas

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas as duas seguintes ferramentas elétricas manuais, cada uma delas respeitante à realização da Tarefa 1 e da Tarefa 2:

- Serra *Multicutter* da marca *Bosch*, modelo GOP 10.8 V-LI + serra com lâmina de serra por imersão para madeira e metal, modelo AIZ28EB (figura 3.2 (a));
- Serra *Sabre-Saw* da marca *Bosch*, modelo GSA 1200 E *Profissional* + serra com lâmina de corte para metal S1122BF (225 mm / 9") (figura 3.2 (b)).



(a) *Multicutter*



(b) *Sabre-Saw*

Figura 3.2: Apresentação das ferramentas elétricas manuais utilizadas na presente investigação

A tabela 3.1 apresenta algumas características técnicas das ferramentas elétricas manuais que foram utilizadas.

Tabela 3.1: Especificações técnicas das ferramentas elétricas manuais utilizadas

Especificações técnicas <i>Multicutter</i>		Especificações técnicas <i>Sabre-Saw</i>	
Tensão da bateria	10,8 V	Potência absorvida	1.100 W
Capacidade da bateria	1,3 Ah	N.º de cursos em vazio	0 - 2.700 c.p.m.
N.º de rotações em vazio	5.000 - 20.000 o.p.m.	Peso	3,6 Kg
Comprimento	280 mm	Serra, comprimento de curso	28 mm
Altura	95 mm	Profundidade de corte em perfis de tubo e metal	20 mm
Peso incl. acumulador	1,0 Kg	Vibração total emitida, a_{hv} (valor para corte em madeira)	19 $m.s^{-2}$
Vibração total emitida, a_{hv}	13,1 $m.s^{-2}$	Incerteza da medição, K	5,5 $m.s^{-2}$

3.2.3 Materiais

A seguinte lista apresenta os materiais que foram adoptados para a realização do estudo em questão:

- Blocos de madeira de pinho com as dimensões 8x7x60 cm, para realização de ensaios de corte com a ferramenta *Multicutter*;
- Barras cilíndricas de aço macio (aço de construção) com Ø 20 mm para realização de ensaios de corte com a ferramenta *Sabre-Saw*;
- 2 grampos, para fixação dos materiais à bancada;
- Relógio mecânico;
- Adaptador para fixação do acelerómetro ao punho do operador com fita de velcro;
- Óculos de proteção contra projeções metálicas;
- Braçadeiras de plástico;
- Abafadores auriculares;
- 4 pares de luvas anti-vibratórias (figura 3.3).



Figura 3.3: Apresentação dos quatro tipos de luvas anti-vibratórias utilizadas nesta investigação

Foram utilizados quatro pares de luvas anti-vibratórias (de acordo com a Norma ISO 10819:1996) pelos operadores nesta investigação: (a) Luvas tipo 1, com preenchimento Gfom moldado na palma e nos dedos, pele de vaca e costuras em Kevlar; (b) Luvas tipo 2, em couro, tecnologia *Air* na palma e nos dedos e punho estilo motorista; (c) Luvas tipo 3, com poliamida na palma da mão, palma e dedos feitos de material resistente a altas temperaturas, parte traseira dos dedos feita de material respirável, parte traseira da luva coberta por material rígido que serve

de escudo dorsal e punho elástico; (d) Luvas tipo 4, com a palma e dedos feitos de pele de porco e punho elástico.

3.3 Caraterização dos operadores

Esta investigação incidiu numa amostra de quarenta operadores adultos, voluntários e todos estudantes do género masculino.

Para a caraterização dos operadores foi utilizado um pequeno questionário, composto por duas partes, sendo elas as seguintes:

- **Caraterísticas individuais:** idade, género, ocupação, experiência na manipulação de ferramentas elétricas manuais e mão dominante;
- **Historial clínico:** ao nível de problemas e/ou lesões músculo-esqueléticas, neurológicas e/ou vasculares associadas à mão dominante.

A totalidade dos operadores não tinha experiência alguma no manuseamento de ferramentas elétricas manuais e apresentava a mão direita como dominante. Não foram reportados, pelos operadores, no historial clínico, quaisquer problemas músculo-esqueléticos, vasculares e/ou neurológicos ao nível da mão dominante.

Foram determinadas as médias e desvios padrão da idade, altura, peso e força máxima de preensão manual na mão dominante, para os quarenta operadores. Esta informação encontra-se sintetizada na tabela 3.2.

Tabela 3.2: Média, desvio padrão e amplitude da idade, medidas antropométricas e força muscular dos operadores (n=40)

Dados demográficos	Média (Desvio padrão)	Amplitude (Min-Máx)
Operadores do género masculino (n)	40	—
Idade (anos)	24,6 (2,5)	19-33
Altura (cm)	176,5 (5,4)	160-186
Peso (kg)	73,0 (7,4)	58-88
Força de preensão manual - Mão dominante (kg)	41,7 (8,9)	21,3-66,7

De salientar que, os testes de força máxima de preensão manual foram realizados com os operadores sentados, o antebraço apoiado sobre uma mesa, com o cotovelo flexionado a formar um ângulo de 90°, exercendo a força máxima de preensão em um dinamómetro, como ilustra a figura 3.4. A distância de preensão foi ajustada de acordo com o punho do operador. Cada

operador foi encorajado a exercer um aperto máximo com a mão durante um período de cinco segundos, com um período de repouso de até um minuto entre os testes. Três leituras foram realizadas para cada medição.



Figura 3.4: Postura do operador a exercer a força máxima de preensão, utilizando para o efeito um dinamómetro

3.4 Protocolo de ensaios

Como já foi dito anteriormente, o estudo principal desta investigação tem como objetivo a medição da vibração transmitida para o punho quando se utilizam luvas anti-vibratórias.

Desta forma, foi solicitado aos operadores para realizarem as tarefas 1 (com o *Multicutter*) e 2 (com o *Sabre-Saw*) em contexto simulado de trabalho, sem luvas e com a utilização dos quatro pares de luvas anti-vibratórias apresentados na figura 3.3 e também que preenchessem o formulário presente no Apêndice C. Os operadores foram também devidamente protegidos com óculos de proteção.

Todos os operadores (n=40) executaram os protocolos que serão explicados de seguida para ambas as tarefas utilizando as ferramentas elétricas manuais *Multicutter* e *Sabre-Saw*.

3.4.1 Tarefa 1 - Ensaios com a ferramenta elétrica manual *Multicutter*

Cada operador foi instruído, antes da realização dos ensaios, para o modo como deveria pegar na pega da ferramenta e realizar os ensaios, nomeadamente no que diz respeito ao corte. A preensão da ferramenta deveria ser efetuada de um modo descontraído e leve; o corte deveria ser horizontal, mantendo o ângulo do cotovelo a 90°, conservando a velocidade de corte constante;

os movimentos deveriam ser repetitivos, sem prender ou retirar a serra do bloco de madeira durante o tempo de medição.

Foi permitido aos operadores realizarem operações de corte preliminares de corte para treino.

Para a realização da primeira tarefa, utilizando a ferramenta *Multicutter*, seguiram-se os seguintes procedimentos:

1. Colocação do operador na posição de referência, isto é, operador de pé, junto à bancada de corte, com o cotovelo a 90° sustentando a ferramenta;
2. Medição da aceleração da vibração, a_{hv} , sem luvas, com a ferramenta ON e em posição de corte, sem contato com o bloco madeira (foram realizados 3 ensaios de 20 segundos para cada um, até obter valores estáveis de a_{hv} no final das medições) (figura 3.5 (a));
3. Medição da aceleração da vibração, a_{hv} , sem luvas, com a ferramenta ON, executando cortes horizontais no bloco de madeira (foram realizados 3 ensaios de 20 segundos para cada um, até obter valores estáveis de a_{hv} no final das medições) (figura 3.5 (b));
4. Repetir o procedimento 3. para cada uma das 4 luvas anti-vibratórias.



(a) Medição da aceleração da vibração sem luvas, com a ferramenta ON e em posição de corte, sem contato com o bloco de madeira



(b) Medição da aceleração da vibração com as luvas tipo 2, com a ferramenta ON, executando cortes horizontais no bloco de madeira

Figura 3.5: Ilustrações representativas das posturas de trabalho dos operadores nas medições da aceleração de vibração, a_{hv} , utilizando a ferramenta *Multicutter*

A aceleração da vibração ponderada em frequência dos valores de a_{hwx} , a_{hwy} , a_{hwz} e a_{hv} ($m.s^{-2}$) foi registrada no medidor de vibração durante o tempo das operações. O *log rate time* foi fixado em 1 segundo, a fim de analisar a variabilidade dos resultados. O espectro de vibração em frequência (não ponderada) de 1/3 de bandas de oitava foi também ele registrado no medidor de vibração. Durante o tempo das operações, o progresso dos valores da aceleração da vibração

ponderada em frequência de a_{hwx} , a_{hwy} , a_{hwz} e a_{hv} ($m.s^{-2}$) foram cuidadosamente observados no medidor de vibração.

Tal como já foi mencionado anteriormente, dois grupos de medições da aceleração de vibração foram realizados: (1) Medições com o acelerómetro localizado na pega da ferramenta, de acordo com a Norma ISO 5349-2:2001 (para $n = 8$ operadores) e (2) Medições realizadas com o acelerómetro localizado no punho do operador (para $n = 32$ operadores).

Para este último grupo de medições, a aceleração de vibração foi medida no punho da mão dominante do operador (Dewangan & Tewari, 2008; R. G. Dong et al., 2003). Para tal foi utilizado um adaptador, semelhante ao utilizado por Dewangan and Tewari (2008), que é constituído por uma chapa em alumínio e que serviu de suporte para o acelerómetro tri-axial. Ao adaptador, foi depois associada uma fita de velcro, de forma a segurar o adaptador ao punho do operador.

Derivado à estrutura do acelerómetro, o sistema de coordenadas não ficou em conformidade com a Norma ISO 5349-1 (2001). O sistema de coordenadas adoptado foi o seguinte:

- Eixo dos zz: eixo perpendicular à superfície da palma da mão;
- Eixo dos xx: eixo longitudinal do osso do terceiro metacarpo;
- Eixo dos yy: segundo a direção da barra de pegar.

3.4.2 Tarefa 2 - Ensaios com a ferramenta elétrica manual *Sabre-Saw*

De igual forma à tarefa 1, também para a realização da tarefa 2, cada operador foi instruído, antes da realização dos ensaios, para o modo como deveria pegar na pega da ferramenta e realizar os ensaios, nomeadamente no que diz respeito ao corte. Os operadores foram instruídos a fazer um corte vertical com a ferramenta *Sabre-Saw* durante um período contínuo de 20 segundos numa barra cilíndrica de aço macio, sem que a lâmina de corte perdesse o contato com a barra durante o tempo de medição. As operações foram repetidas por cada operador, com e sem luvas anti-vibratórias. As operações foram realizadas de forma contínua, com uma velocidade, movimento e força aplicada na lâmina de corte uniformes. O operador deveria manter o cotovelo com um ângulo de 90° , segurando a ferramenta de forma leve e descontraída.

Para além das medições feitas com a ferramenta ON a cortar o material, também foram efetuadas medições com a ferramenta ON sem cortar o material (lâmina de corte sem contato com a barra de aço).

Antes de qualquer colheita de dados, os operadores receberam treino para um bom manuseamento da ferramenta elétrica manual *Sabre-Saw*.

De maneira análoga à tarefa 1, apresentam-se de seguida, de forma reduzida, os procedimentos adoptados para a realização da tarefa 2 com a ferramenta *Sabre-Saw*:

1. Colocação do operador na posição de referência, isto é, operador de pé, junto à bancada de corte, com o cotovelo a 90° sustentando a ferramenta;
2. Medição da aceleração da vibração, a_{hv} , sem luvas, com a ferramenta ON e em posição de corte, sem contato com a barra de aço (foram realizados 3 ensaios de 20 segundos para cada um, até obter valores estáveis de a_{hv} no final das medições) (figura 3.6 (a));
3. Medição da aceleração da vibração, a_{hv} , sem luvas, com a ferramenta ON, executando cortes verticais na barra de aço (foram realizados 3 ensaios de 20 segundos para cada um, até obter valores estáveis de a_{hv} no final das medições) (figura 3.6 (b));
4. Repetir o procedimento 3. para cada uma das 4 luvas anti-vibratórias.



(a) Medição da aceleração da vibração sem luvas, com a ferramenta ON e em posição de corte, sem contato com a barra de aço



(b) Medição da aceleração da vibração com as luvas tipo 1, com a ferramenta ON, executando cortes verticais na barra de aço

Figura 3.6: Ilustrações representativas das posturas de trabalho dos operadores nas medições da aceleração de vibração, a_{hv} , utilizando a ferramenta *Sabre-Saw*

Mais uma vez e à semelhança da tarefa 1, dois grupos de medições da aceleração de vibração foram realizados: (1) Medições com o acelerómetro localizado na pega da ferramenta, de acordo com a Norma ISO 5349-2:2001 (para $n = 8$ operadores) e (2) Medições realizadas com o acelerómetro localizado no punho do operador (para $n = 32$ operadores).

A aceleração medida no punho do operador para esta tarefa, teve exactamente as mesmas particularidades existentes na tarefa 1 no que diz respeito à fixação do acelerómetro ao punho do operador.

Para ambas as tarefas, foram também registados os valores da temperatura e da humidade relativa (tal como indica a Norma 5349-2 (2002)), para caraterizar as condições ambientais aquando da realização dos ensaios, através do equipamento *Humidity and Temperature Indicator*. A temperatura e a humidade relativa média (mínima-máxima) registadas foram de 22,7°C (17,1°C-25,9°C) e de 54,7% (37,5%-70,2%) respetivamente. Não foi registado o valor do ruído, conforme indica a Norma 5349-2 (2002), pois o espaço do laboratório onde foram realizados os ensaios em contexto simulado de trabalho não apresentava variações substanciais ao nível de ruído.

3.5 Tratamento estatístico dos dados

Os dados obtidos nesta investigação foram analisados e tratados numa perspetiva estatística, recorrendo ao teste estatístico não paramétrico *Wilcoxon Signed-Rank*. Este teste serve para avaliar se duas amostras dependentes, respeitantes à mesma variável, são ou não estatisticamente diferentes, isto é, compara qualquer mudança significativa nos valores registados, para um mesmo operador, quando este é submetido a mais de uma condição, em contexto controlado de trabalho. Note-se que se está perante amostras dependentes quando são efetuadas medições nos mesmos operadores em várias situações distintas.

De maneira a compreender as caraterísticas e como utilizar as variáveis numa investigação, é necessário identificar o tipo de variáveis presentes (dependentes e independentes).

Uma variável independente, ou de previsão, é uma variável que é independente do procedimento da investigação, que não depende da investigação, constituindo no entanto fatores determinantes que a vão influenciar, recorrendo o investigador à sua manipulação para observar os efeitos produzidos nas variáveis dependentes.

Todos os testes foram conduzidos pelo *software SPSS* - versão 18.0 para *Windows*.

Capítulo 4

Apresentação e Discussão dos Dados Empíricos

Ao longo deste capítulo, os resultados obtidos nesta investigação serão divididos em grupos, de modo a ser possível detalhar melhor cada um deles e estabelecer comparações entre tarefas e variáveis.

Serão apresentados grupos de resultados registados em contexto simulado de trabalho que irão ao encontro das respostas às questões definidas nos objetivos inicialmente enunciados.

4.1 Variabilidade do valor total da vibração ponderada em frequência, a_{hv} , nas diferentes tarefas

A variabilidade, ou coeficiente de variação (CV), é a estatística utilizada quando se deseja comparar a variação de conjuntos de dados que diferem na média, ou seja, permite quantificar a precisão dos métodos experimentais. Representa o desvio padrão expresso como uma percentagem média e é calculado através da equação 4.1.

$$CV(\%) = \frac{SD}{a_{hv}(m.s^{-2})} \cdot 100 \quad (4.1)$$

Quarenta operadores realizaram as tarefas 1 e 2 com as ferramentas elétricas manuais, durante um período de 20 segundos para cada operação em contexto simulado de trabalho. O tempo de registo das medições foi definido como 1 segundo, a fim de analisar a variabilidade de a_{hv} durante as operações. A variabilidade foi medida na pega das ferramentas e no punho dos operadores.

4.1.1 Tarefa 1 - Operações com a ferramenta elétrica manual *Multicutter*

O coeficiente de variação (CV) da vibração total ponderada em frequência, a_{hv} , foi calculado para cada ensaio utilizando a ferramenta *Multicutter* e no final foi calculado o valor médio para os ensaios realizados na pega da ferramenta ($n=8$ operadores), e no punho dos operadores ($n=32$ operadores) (tabela 4.1).

Tabela 4.1: Variabilidade de a_{hv} , medida na pega da ferramenta elétrica ($n=8$ operadores) e no punho dos operadores ($n=32$ operadores), durante os ensaios em contexto simulado de trabalho com a ferramenta *Multicutter*

	Medições na pega	Medições no punho
	CV (%)	CV (%)
	Média (Min-Máx)	Média (Min-Máx)
Ensaio em vazio		
Sem luvas	3,00 (0,87-8,69)	13,51 (3,78-37,34)
Ensaio em corte		
Sem luvas	5,48 (3,02-12,96)	13,11 (5,43-29,05)
Luvas 1	3,63 (1,29-5,86)	10,17 (5,01-20,79)
Luvas 2	3,74 (2,30-4,88)	14,00 (8,32-24,73)
Luvas 3	3,90 (2,04-8,76)	11,87 (3,95-22,04)
Luvas 4	5,27 (2,12-10,86)	7,20 (3,05-14,00)

Ao analisar os resultados obtidos para a ferramenta *Multicutter* ao nível da pega e do punho dos operadores, constata-se que todos os valores de CV se situam abaixo dos 14%. Significa que o conjunto de dados registados é razoavelmente homogêneo.

Depois de verificada a homogeneidade dos valores obtidos de a_{hv} nos diferentes ensaios, é interessante verificar de que modo a dispersão das medições, relativamente à média, é afetada de ensaio para ensaio, isto é, importa verificar se existem, ou não, diferenças significativas entre os ensaios realizados pelos operadores, ao mesmo tempo que se confere a sua consistência. Desta forma, foram inseridos no *software SPSS*, separadamente para cada tipo de medição (na pega da ferramenta e no punho dos operadores), os valores correspondentes a cada um dos 6 ensaios referidos na tabela 4.1. Foi utilizado o teste não paramétrico *Wilcoxon Signed Ranks* para determinar os valores de *p-level* a partir dos valores calculados do CV. A tabela 4.2 apresenta os valores de *p-level* obtidos.

Estabelecendo uma análise geral aos valores obtidos da variabilidade da vibração na pega da ferramenta e com um nível de confiança de 95%, verificamos que a variabilidade nos ensaios em vazio não difere significativamente ($p\text{-level}<0,05$), quando comparada com os ensaios em corte,

Tabela 4.2: Valores de p -level obtidos pelo teste estatístico não paramétrico *Wilcoxon Signed Ranks*, quando se comparam os valores do CV dos 6 ensaios entre si, utilizando a ferramenta *Multicutter* e fazendo a distinção entre valores com o acelerómetro localizado na pega da ferramenta e no punho dos operadores

	CV (%)					
	Ensaio em vazio		Ensaio em corte			
	Sem luvas	Sem luvas	Luv. 1	Luv. 2	Luv. 3	Luv. 4
Na pega						
<i>Ensaio em vazio</i>						
Sem luvas	—	0,016 ^(*)	0,445	0,350	0,068	0,027 ^(*)
<i>Ensaio em corte</i>						
Sem luvas	—	—	0,496	0,339	0,041 ^(*)	0,833
Luv. 1	—	—	—	0,705	0,863	0,223
Luv. 2	—	—	—	—	0,915	0,144
Luv. 3	—	—	—	—	—	0,111
Luv. 4	—	—	—	—	—	—
No punho						
<i>Ensaio em vazio</i>						
Sem luvas	—	0,806	0,061	0,773	0,301	0,000 ^(*)
<i>Ensaio em corte</i>						
Sem luvas	—	—	0,024 ^(*)	0,363	0,280	0,000 ^(*)
Luv. 1	—	—	—	0,001 ^(*)	0,146	0,000 ^(*)
Luv. 2	—	—	—	—	0,121	0,000 ^(*)
Luv. 3	—	—	—	—	—	0,000 ^(*)
Luv. 4	—	—	—	—	—	—

(*) Diferenças significativas com um nível de confiança de 95% (p -level < 0,05)

excepto com os ensaios sem luvas e utilizando as luvas tipo 4. Nestes casos pode constatar-se que as operações de corte e o modo operatório de cada operador, derivado das características técnicas da luva, da força de preensão e de empurrar da ferramenta, a pressão de contato entre a ferramenta e a mão do operador, a postura do punho, do braço, do corpo e a própria aptidão do operador, não interferem significativamente ($p\text{-level}<0,05$) com a variabilidade da vibração emitida pela ferramenta.

De notar também que, de uma maneira geral, não existem diferenças significativas ($p\text{-level}<0,05$) nas medições realizadas no punho do operador, entre os ensaios realizados em vazio, comparativamente com os ensaios realizados em corte, à excepção do ensaio em corte, com luvas tipo 4. Verificou-se que este último ensaio apresentava diferenças significativas comparativamente aos restantes ensaios em corte. Este fato poderá dever-se à utilização das luvas tipo 4, uma vez que são as de menor dimensão e, por isso, permanecem mais justas à mão do operador, o que, conseqüentemente, poderá levar ao decréscimo da variabilidade da vibração medida no punho (de acordo com a tabela 4.1), uma vez que o posicionamento do acelerómetro tende a ficar mais estável.

Analisando pormenorizadamente a tabela 4.2, conjuntamente com a tabela 4.1, referente à tarefa em que se utilizou a ferramenta *Multicutter*, pode afirmar-se com um nível de confiança de 95% o seguinte:

- Para os ensaios realizados com o acelerómetro na pega da ferramenta, verificaram-se diferenças significativas ($p\text{-level}<0,05$), entre os ensaios efetuados em vazio, comparativamente com os ensaios realizados em corte, sem luvas e com luvas tipo 4. Em ambos os casos se verificou um decréscimo significativo de variabilidade ($\approx 2\%$ CV).

Analisando ainda os valores de variabilidade obtidos com o acelerómetro na pega da ferramenta, constatou-se que nos ensaios efetuados em corte, sem luvas, comparativamente com os ensaios em corte, com as luvas tipo 3, existiu um aumento significativo ($p\text{-level}<0,05$) da variabilidade ($\approx 2\%$ CV).

- Para os ensaios realizados com o acelerómetro no punho do operador, verificou-se um decréscimo significativo ($p\text{-level}<0,01$), de variabilidade ($\approx 3\text{-}7\%$ CV), nos ensaios em corte, com as luvas tipo 4, comparativamente com os ensaios em vazio e com os ensaios em corte, com as luvas tipo 1, 2 e 3.

De salientar ainda a existência de um decréscimo significativo ($p\text{-level}<0,05$), de

variabilidade ($\approx 3\text{-}4\%$ CV), nos ensaios em corte, com as luvas do tipo 1, comparativamente com os ensaios em corte, sem luvas e com as luvas tipo 2.

4.1.2 Tarefa 2 - Operações com a ferramenta elétrica manual *Sabre-Saw*

O coeficiente de variação (CV) da vibração total ponderada em frequência, a_{hv} , foi calculado para cada ensaio utilizando a ferramenta *Sabre-Saw* e no final foi calculada a média dos ensaios realizados tanto na pega da ferramenta ($n= 8$ operadores), como no punho dos operadores ($n= 32$ operadores) (tabela 4.3).

Tabela 4.3: Variabilidade de a_{hv} , medida na pega da ferramenta elétrica ($n= 8$ operadores) e no punho dos operadores ($n= 32$ operadores), durante os ensaios em contexto simulado de trabalho com a ferramenta *Sabre-Saw*

	Medições na pega	Medições no punho
	CV (%)	CV (%)
	Média (Min-Máx)	Média (Min-Máx)
Ensaio em vazio		
Sem luvas	2,39 (0,67-4,65)	9,26 (2,11-19,96)
Ensaio em corte		
Sem luvas	5,21 (1,17-10,75)	9,89 (3,46-25,71)
Luvras 1	2,42 (1,18-4,64)	8,24 (3,31-17,11)
Luvras 2	2,53 (0,68-6,05)	7,76 (3,77-14,78)
Luvras 3	1,87 (0,81-3,16)	7,64 (3,44-16,78)
Luvras 4	2,23 (0,80-5,18)	8,49 (1,89-16,33)

Ao analisar os resultados obtidos para a ferramenta *Sabre-Saw* ao nível da pega e do punho dos operadores, constata-se que todos os valores de CV se situam abaixo dos 10%, significando que o conjunto de dados registados é razoavelmente homogêneo.

Depois de verificada a homogeneidade dos valores obtidos de a_{hv} nos diferentes ensaios e tal como na tarefa 1, também aqui é interessante verificar se existem, ou não, diferenças significativas entre os ensaios realizados pelos operadores, ao mesmo tempo que se confere a sua consistência. Desta forma, foram inseridos no *software SPSS*, separadamente para cada tipo de medição (na pega da ferramenta e no punho dos operadores), os valores correspondentes a cada um dos 6 ensaios referidos na tabela 4.3. Foi utilizado o teste não paramétrico *Wilcoxon Signed Ranks* para determinar os valores de *p-level* a partir dos valores calculados do CV. A tabela 4.4 apresenta os valores de *p-level* obtidos.

Estabelecendo uma análise geral aos valores obtidos para a variabilidade da vibração na

Tabela 4.4: Valores de *p-level* obtidos pelo teste estatístico não paramétrico *Wilcoxon Signed Ranks*, quando se comparam os valores do CV dos 6 ensaios entre si, utilizando a ferramenta *Sabre-Saw* e fazendo a distinção entre valores com o acelerômetro localizado na pega da ferramenta e no punho dos operadores

	CV (%)					
	Ensaio em vazio		Ensaio em corte			
	Sem luvas	Sem luvas	Luv. 1	Luv. 2	Luv. 3	Luv. 4
Na pega						
<i>Ensaio em vazio</i>						
Sem luvas	—	0,123	0,832	0,595	0,380	0,942
<i>Ensaio em corte</i>						
Sem luvas	—	—	0,034 ^(*)	0,105	0,027 ^(*)	0,020 ^(*)
Luv. 1	—	—	—	0,680	0,059	0,317
Luv. 2	—	—	—	—	0,197	0,498
Luv. 3	—	—	—	—	—	0,257
Luv. 4	—	—	—	—	—	—
No punho						
<i>Ensaio em vazio</i>						
Sem luvas	—	0,458	0,607	0,182	0,224	0,969
<i>Ensaio em corte</i>						
Sem luvas	—	—	0,229	0,122	0,071	0,566
Luv. 1	—	—	—	0,748	0,855	0,627
Luv. 2	—	—	—	—	0,856	0,325
Luv. 3	—	—	—	—	—	0,291
Luv. 4	—	—	—	—	—	—

(*) Diferenças significativas com um nível de confiança de 95% (*p-level*<0,05)

pega da ferramenta e com um nível de confiança de 95%, verifica-se que a variabilidade da vibração nos ensaios realizados em vazio não apresenta diferenças significativas ($p\text{-level}<0,05$) em relação aos ensaios realizados em corte. Pode então constatar-se que as operações de corte e o modo operatório de cada operador, derivado das características técnicas da luva, da força de preensão da ferramenta, da força vertical de corte, da pressão de contato entre a ferramenta e a mão do operador, da postura do punho, do braço, do corpo e a própria aptidão do operador, não interferem significativamente ($p\text{-level}<0,05$) com a variabilidade da vibração emitida pela ferramenta.

De notar também que, não existem diferenças significativas ($p\text{-level}<0,05$) nas medições realizadas no punho do operador, entre os ensaios realizados em vazio e os ensaios realizados em corte. Tal fato poderá ficar a dever-se à instrução que foi obtida pelos operadores antes de efetuarem os ensaios, permitindo assim que mantivessem uma postura de trabalho muito semelhante entre si e consequentemente um nível de variabilidade idêntico entre ensaios.

Analisando pormenorizadamente a tabela 4.4, conjuntamente com a tabela 4.3, referente à tarefa em que se utilizou a ferramenta *Sabre-Saw*, pode afirmar-se com um nível de confiança de 95% o seguinte:

- Para os ensaios realizados com o acelerómetro na pega da ferramenta, verificaram-se diferenças significativas ($p\text{-level}<0,05$), entre os ensaios efetuados em corte, sem luvas, comparativamente com os ensaios realizados em corte, com luvas tipo 1, tipo 3 e tipo 4. Em todos os casos se verificou um aumento significativo de variabilidade ($\approx 3\text{-}4\%$ CV). Daqui podemos concluir que, nos ensaios em corte, a utilização de luvas anti-vibratórias diminui significativamente ($p\text{-level}<0,05$) a variabilidade da vibração recebida do punho dos operadores.
- Para os ensaios realizados com o acelerómetro no punho do operador, não foram registadas quaisquer diferenças significativas ($p\text{-level}<0,05$) entre os vários ensaios em vazio e em corte.

4.2 Comparação dos valores de aceleração da vibração das ferramentas declarados pelos fabricantes com os valores obtidos em contexto simulado de trabalho

Depois de se perceber o comportamento das ferramentas elétricas manuais utilizadas nesta investigação ao nível das vibrações emitidas, torna-se interessante comparar os valores das vibrações totais, a_{hv} , obtidos em contexto simulado de trabalho, em ambas as tarefas, com os valores declarados pelos fabricantes e ainda com os valores ajustados derivados dos fatores multiplicativos propostos no CEN/TR 15350.

Para isso, apresentam-se de seguida na tabela 4.5, os valores da vibração total, a_{hv} , emitida pelas duas ferramentas elétricas manuais (acelerómetro na pega das ferramentas).

Tabela 4.5: Valores de a_{hv} emitidos pelas ferramentas. Medições feitas na pega das ferramentas durante os ensaios em contexto simulado de trabalho, com o acelerómetro na pega (n= 8 operadores)

	Multicutter / Pega	Sabre-Saw / Pega
	a_{hv} (m.s ⁻²)	a_{hv} (m.s ⁻²)
	Média (Min-Máx)	Média (Min-Máx)
Ensaio em vazio		
Sem luvas	18,35 (13,60-24,30)	17,94 (16,00-20,90)
Ensaio em corte		
Sem luvas	18,59 (15,00-23,40)	19,91 (16,80-26,20)
Luvas 1	16,05 (13,40-19,00)	18,29 (15,60-20,80)
Luvas 2	16,13 (10,80-20,50)	17,05 (15,20-19,10)
Luvas 3	16,58 (12,40-23,20)	18,06 (15,20-20,60)
Luvas 4	15,00 (11,40-19,40)	17,78 (15,40-20,90)

Sabe-se também que os valores indicados nas especificações técnicas das ferramentas, para o trabalho em madeira e aço, com as ferramentas *Multicutter* e *Sabre-Saw*, são respetivamente de 13,1 m.s⁻² e 19,0 m.s⁻², de acordo com a tabela 3.1.

Por outro lado, consultando a tabela 2.4, pode constatar-se que, consoante o tipo de ferramenta elétrica, o fator multiplicativo que deve ser considerado para determinar o valor ajustado da ferramenta pode variar. Utilizou-se o fator multiplicativo de 1,5 para a ferramenta *Multicutter*, pois trata-se de uma ferramenta não específica e o fator multiplicativo de 2,0 para a ferramenta *Sabre-Saw*, conforme indica a tabela 2.4.

Para uma melhor visualização e análise desta comparação de valores, construiu-se o gráfico presente na figura 4.1.

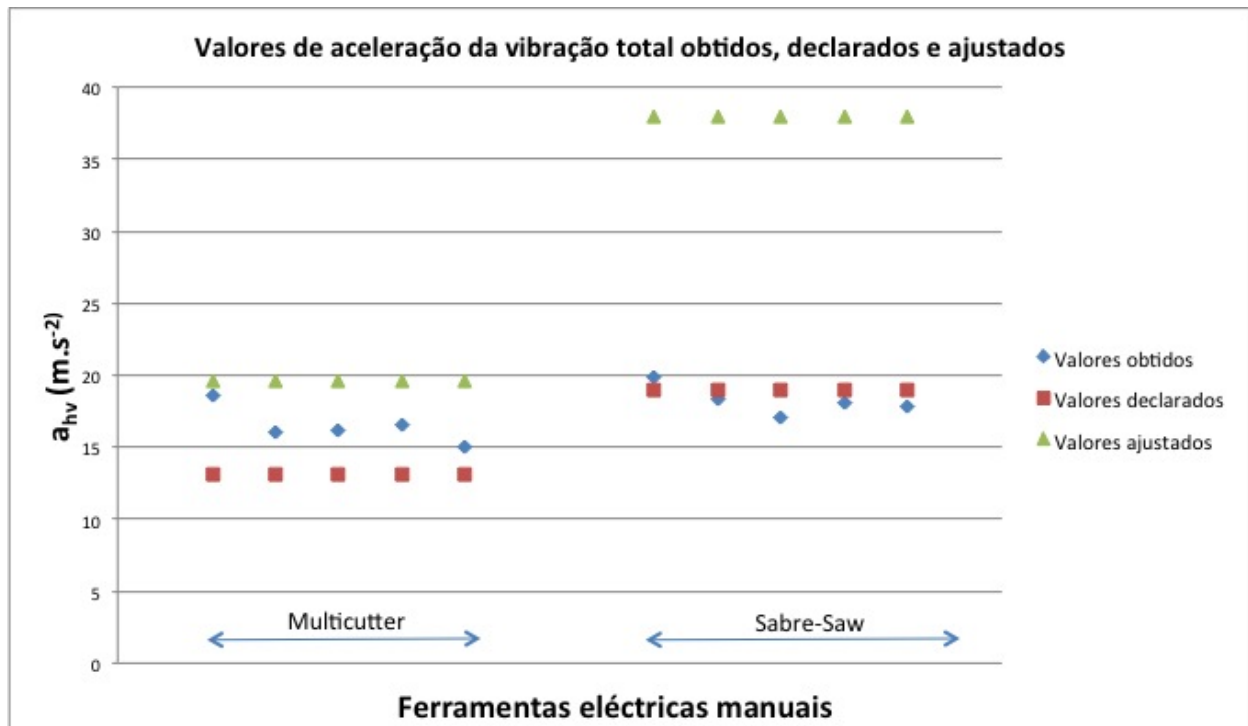


Figura 4.1: Comparação dos valores de vibração total obtidos em contexto simulado de trabalho para os 5 ensaios em corte, com os valores declarados pelos fabricantes e valores ajustados

Depois de uma breve análise do gráfico presente na figura 4.1, constata-se o seguinte:

- Para a ferramenta elétrica manual *Multicutter*, a média dos valores obtidos ($n= 8$ operadores), em todos os ensaios em corte, situa-se acima dos valores declarados pelo fabricante ($13,1m.s^{-2}$). Tal fato poderá ser explicado por se tratar de uma ferramenta com multifunções aplicada a uma vasta gama de materiais. Sendo que o acessório utilizado foi concebido para aplicação em madeira e/ou metal, esta discrepância de valores pode ficar a dever-se ao fato dos valores declarados terem sido obtidos através de ensaios realizados em materiais com uma menor rigidez do que a que foi utilizada neste estudo, resultando por isso em valores mais reduzidos de vibração total.

De salientar também que todos os valores obtidos estão compreendidos entre os valores declarados e os valores ajustados;

- Relativamente à ferramenta *Sabre-Saw*, a média dos valores obtidos ($n= 8$ operadores), no que diz respeito ao ensaio de corte sem luvas, é a única que apresenta valores superiores ao valor da vibração declarado pelo fabricante ($19,0 m.s^{-2}$), o que vai ao encontro das conclusões obtidas por Rimell et al. (2008). Os restantes ensaios apresentam valores inferiores ao valor declarado pelo fabricante e por isso, não confirmam as conclusões

obtidas por Rimell et al. (2008). No entanto, constata-se que estas diferenças não são substanciais.

De notar ainda que os valores ajustados apresentam uma discrepância substancialmente maior em relação aos valores obtidos, do que a existente entre estes e os valores declarados.

4.3 Análise da eficácia das luvas anti-vibratórias

4.3.1 Valores de aceleração da vibração total ponderada em frequência, medida nas pegas das ferramentas

Para a análise deste tema, importa que sejam tidos conta os dados constantes da tabela 4.5 (seção 4.2).

Depois de analisados os valores obtidos de a_{hv} na pega de ambas as ferramentas para os diferentes ensaios, verificou-se que a utilização de luvas anti-vibratórias afeta a vibração total emitida pelas ferramentas.

Em 75% ($n=8$ operadores) dos operadores verificou-se que, nos ensaios em corte, os valores de a_{hv} medidos nas pegas das ferramentas, sem luvas, foram superiores aos valores registados com luvas. Este aumento foi de $\approx 2-3 \text{ m.s}^{-2}$ nas ferramentas *Multicutter* e *Sabre-Saw*.

De uma maneira geral pode afirmar-se que, para ambas as ferramentas, a vibração total emitida é inferior quando os operadores utilizam luvas anti-vibratórias, comparativamente às medições realizadas sem luvas. Este fato pode estar associado a fatores como as características técnicas da luva, a força de apreensão da ferramenta, a força exercida na ferramenta durante o corte, a pressão de contato entre a ferramenta e a mão do operador, a postura do punho, do braço, do corpo e a própria aptidão do operador.

Posto isto, é interessante verificar de que modo a dispersão das medições, relativamente à média, é afetada de ensaio para ensaio. Desta forma, foram inseridos no *software SPSS*, separadamente para cada tarefa (com a ferramenta *Multicutter* e com a ferramenta *Sabre-Saw*), os valores de a_{hv} correspondentes a cada um dos 6 ensaios ($n=8$ operadores) para as medições realizadas na pega da ferramenta. Foi utilizado o teste não paramétrico *Wilcoxon Signed Ranks* para determinar os valores de *p-level* a partir dos valores calculados de a_{hv} . A tabela 4.6 apresenta os valores de *p-level* obtidos.

De uma maneira geral, para a ferramenta *Multicutter*, verificou-se uma diminuição significativa

Tabela 4.6: Valores de *p-level* obtidos pelo teste estatístico não paramétrico *Wilcoxon Signed Ranks*, quando se comparam os valores de a_{hv} dos 6 ensaios entre si, para medições realizadas nas pegas das ferramentas e fazendo a distinção entre valores registados nas ferramentas *Multicutter* e *Sabre-Saw* (n= 8 operadores)

	a_{hv} (m.s ⁻²)					
	Ensaio em vazio		Ensaio em corte			
	Sem luvas	Sem luvas	Luvas 1	Luvas 2	Luvas 3	Luvas 4
Multicutter						
<i>Ensaio em vazio</i>						
Sem luvas	—	0,779	0,036 ^(*)	0,123	0,401	0,035 ^(*)
<i>Ensaio em corte</i>						
Sem luvas	—	—	0,012 ^(*)	0,012 ^(*)	0,123	0,012 ^(*)
Luvas 1	—	—	—	0,362	0,528	0,327
Luvas 2	—	—	—	—	0,484	0,161
Luvas 3	—	—	—	—	—	0,123
Luvas 4	—	—	—	—	—	—
Sabre-Saw						
<i>Ensaio em vazio</i>						
Sem luvas	—	0,093	0,271	0,176	0,944	0,624
<i>Ensaio em corte</i>						
Sem luvas	—	—	0,107	0,017 ^(*)	0,035 ^(*)	0,012 ^(*)
Luvas 1	—	—	—	0,011 ^(*)	0,293	0,050
Luvas 2	—	—	—	—	0,018 ^(*)	0,050
Luvas 3	—	—	—	—	—	0,362
Luvas 4	—	—	—	—	—	—

(*) Diferenças significativas com um nível de confiança de 95% (*p-level*<0,05)

($p\text{-level}<0,05$) no valor de a_{hv} nos ensaios em corte quando são utilizadas luvas anti-vibratórias, comparativamente aos ensaios sem luvas, embora num dos ensaios (com luvas tipo 3) essa redução não tenha sido significativa ($p\text{-level}>0,05$).

Para os ensaios realizados com a ferramenta *Sabre-Saw*, também foi registada uma redução significativa ($p\text{-level}<0,05$) no valor de a_{hv} nos ensaios em corte quando são utilizadas as luvas anti-vibratórias, comparativamente aos ensaios sem luvas. Contudo, foi igualmente verificado num dos ensaios (com luvas tipo 1) uma redução não significativa ($p\text{-level}>0,05$) da vibração emitida.

Importa ainda referir que apenas na utilização desta ferramenta, os ensaios em corte não introduziram alterações significativas ($p\text{-level}>0,05$) aos valores de a_{hv} , medidos na pega da ferramenta, comparativamente com os ensaios em vazio. Isto significa que, as operações de corte e o modo operativo de cada operador, derivado das características técnicas da luva, da força de preensão da ferramenta, da força vertical de corte, da pressão de contato entre a ferramenta e a mão do operador, da postura do punho, do braço, do corpo e a própria aptidão do operador, não interferem significativamente ($p\text{-level}<0,05$) com a aceleração de vibração total emitida pela ferramenta, a_{hv} .

Analisando em pormenor a tabela 4.6, conjuntamente com a tabela 4.5, referente aos valores de a_{hv} obtidos nas medições realizadas nas pegas das ferramentas, pode afirmar-se com um nível de confiança de 95% o seguinte:

- Para os ensaios com a ferramenta *Multicutter*, verificaram-se diferenças significativas ($p\text{-level}<0,05$) em relação aos valores de a_{hv} , nos ensaios em vazio, comparativamente com os ensaios em corte, com luvas tipo 1 e luvas tipo 4. Registaram-se também diferenças significativas nos ensaios em corte, sem luvas, comparativamente com os ensaios com luvas tipo 1, com luvas tipo 2 e luvas tipo 4. Em todos os casos se verificou um aumento significativo ($p\text{-level}<0,05$) de $\approx 2\text{-}3 \text{ m.s}^{-2}$ de a_{hv} .
- No caso dos ensaios com a ferramenta *Sabre-Saw*, foram verificados aumentos significativos ($\approx 2\text{-}3 \text{ m.s}^{-2}$) de a_{hv} ($p\text{-level}<0,05$) no que respeita aos ensaios em corte, sem luvas, comparativamente com os ensaios em corte com as luvas tipo 2, luvas tipo 3 e luvas tipo 4. Nos ensaios em corte com luvas do tipo 1 e comparativamente com os ensaios com luvas tipo 2 foi também verificado um aumento significativo ($p\text{-level}<0,05$) de $\approx 1 \text{ m.s}^{-2}$ de a_{hv} .

Desta forma, apesar de algumas diferenças significativas ($p\text{-level}<0,05$), foram construídos dois gráficos que são apresentados na figura 4.2, um referente à utilização da ferramenta

Multicutter e outro à utilização da ferramenta *Sabre-Saw*, para ilustrar a vibração emitida pela pega das ferramentas em contexto simulado de trabalho, com e sem a utilização de luvas anti-vibratórias.

Como conclusão desta seção, importa mencionar que quando se efetuam medições da vibração total emitida na pega das ferramentas elétricas, deve especificar-se se essas medições são feitas com ou sem a utilização de luvas anti-vibratórias, uma vez que esse fator irá afetar os valores das medições. (Esta circunstância não se encontra claramente mencionada na Norma ISO 5349-1 (2001)).

4.3.2 Valores de aceleração da vibração total ponderada em frequência, medida nos punhos dos operadores

Nesta seção fazer-se-á uma análise comparativa da vibração transmitida ao punho dos operadores, com e sem a utilização de luvas anti-vibratórias, analisando a eficácia das mesmas.

A tabela 4.7 apresenta os valores totais de vibração, a_{hv} , registados pelo acelerómetro colocado no punho dos operadores, quando os operadores realizavam as tarefas em contexto simulado de trabalho.

Tabela 4.7: Valores de a_{hv} transmitidos ao punho dos operadores. Medições feitas no punho dos operadores durante as operações em contexto simulado de trabalho ($n = 32$ operadores)

	<i>Multicutter</i> / Punho	<i>Sabre-Saw</i> / Punho
	a_{hv} (m.s ⁻²)	a_{hv} (m.s ⁻²)
	Média (Min-Máx)	Média (Min-Máx)
Ensaio em vazio		
Sem luvas	0,38 (0,20-0,73)	14,12 (7,71-23,00)
Ensaio em corte		
Sem luvas	0,68 (0,40-1,54)	17,34 (6,94-33,10)
Luvas 1	0,96 (0,50-2,17)	17,57 (7,05-29,00)
Luvas 2	0,64 (0,39-1,19)	17,10 (6,19-27,00)
Luvas 3	0,68 (0,35-1,29)	16,32 (8,69-25,70)
Luvas 4	1,18 (0,44-2,11)	19,02 (7,12-31,70)

Recorreu-se ao teste não paramétrico de *Wilcoxon Signed Ranks* de duas caudas (teste bilateral), tendo-se determinado os valores de *p-level* (tabela 4.8) para cada tarefa, a partir dos valores presentes na tabela 4.7.

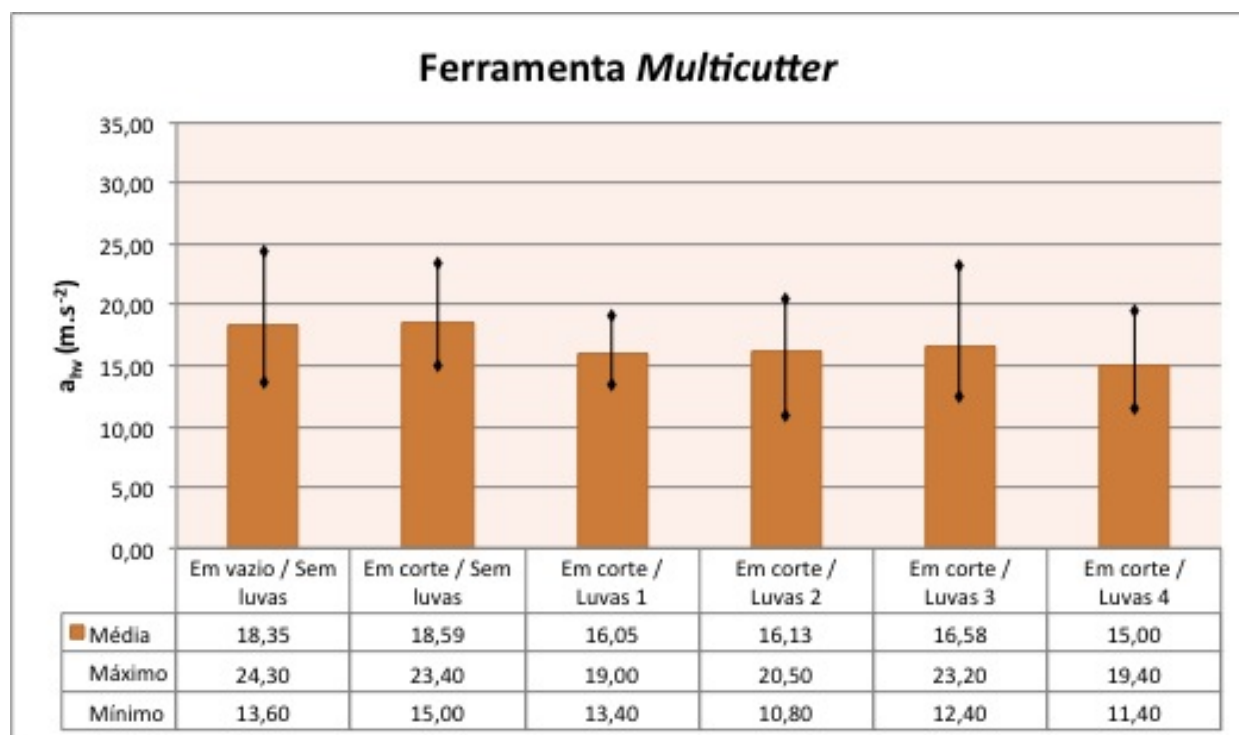
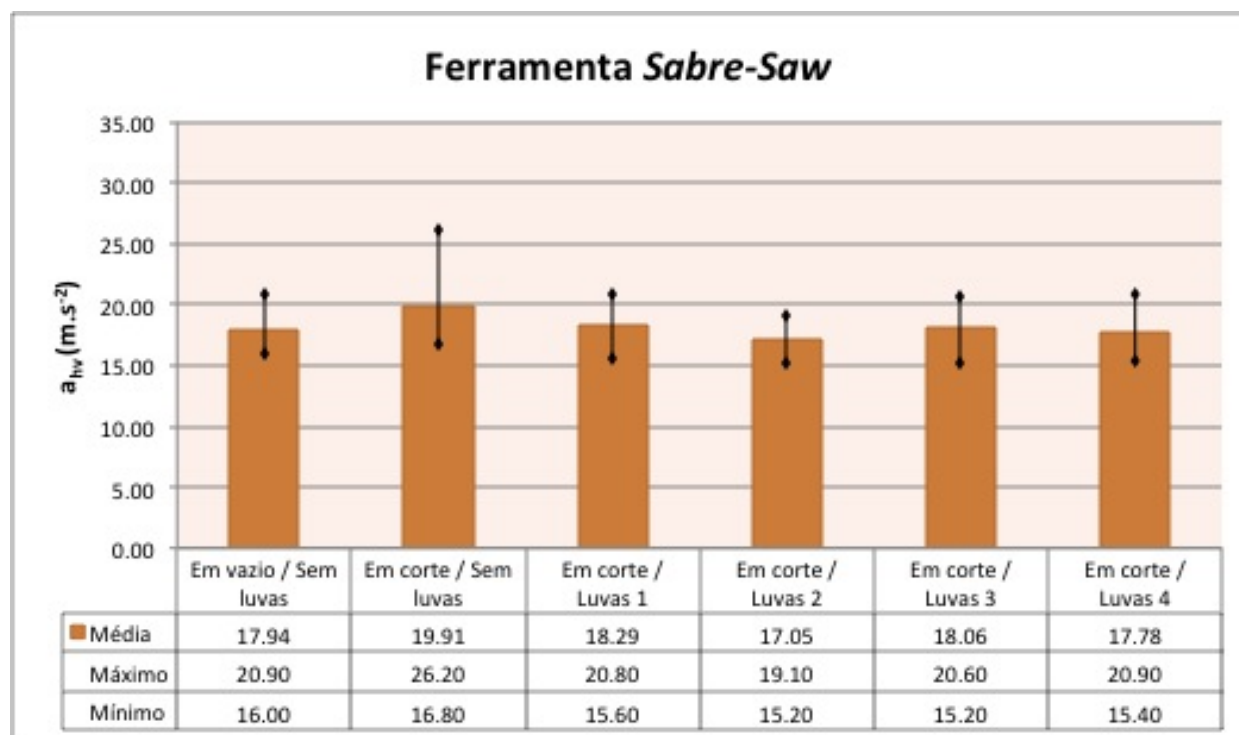
(a) Valores de a_{hv} medidos na pega da ferramenta Multicutter para as diferentes variáveis(b) Valores de a_{hv} medidos na pega da ferramenta Sabre-Saw para as diferentes variáveis

Figura 4.2: Gráficos ilustrativos dos valores totais de vibração, a_{hv} , emitidos pelas pegas das ferramentas elétricas (média, máximo e mínimo), para cada uma das seis variáveis, nas medições feitas para as duas tarefas ($n= 8$ operadores)

Tabela 4.8: Valores de p -level obtidos pelo teste estatístico não paramétrico *Wilcoxon Signed Ranks*, quando se comparam os valores de a_{hv} dos 6 ensaios entre si, para medições realizadas no punho dos operadores e fazendo a distinção entre valores registados nas ferramentas *Multicutter* e *Sabre-Saw* ($n=32$ operadores)

		a _{hv} (m.s ⁻²)					
		Ensaio em vazio	Ensaio em corte				
		Sem luvas	Sem luvas	Luvas 1	Luvas 2	Luvas 3	Luvas 4
Multicutter							
<i>Ensaio em vazio</i>							
Sem luvas	—	0,000 ^(*)	0,000 ^(*)	0,000 ^(*)	0,000 ^(*)	0,000 ^(*)	0,000 ^(*)
<i>Ensaio em corte</i>							
Sem luvas	—	—	0,000 ^(*)	0,217	0,992	0,000 ^(*)	0,000 ^(*)
Luvas 1	—	—	—	0,000 ^(*)	0,000 ^(*)	0,001 ^(*)	0,001 ^(*)
Luvas 2	—	—	—	—	0,065	0,000 ^(*)	0,000 ^(*)
Luvas 3	—	—	—	—	—	0,000 ^(*)	0,000 ^(*)
Luvas 4	—	—	—	—	—	—	—
Sabre-Saw							
<i>Ensaio em vazio</i>							
Sem luvas	—	0,010 ^(*)	0,005 ^(*)	0,011 ^(*)	0,034 ^(*)	0,000 ^(*)	0,000 ^(*)
<i>Ensaio em corte</i>							
Sem luvas	—	—	0,317	0,815	0,449	0,204	0,204
Luvas 1	—	—	—	0,432	0,059	0,035 ^(*)	0,035 ^(*)
Luvas 2	—	—	—	—	0,145	0,043 ^(*)	0,043 ^(*)
Luvas 3	—	—	—	—	—	0,003 ^(*)	0,003 ^(*)
Luvas 4	—	—	—	—	—	—	—

(*) Diferenças significativas com um nível de confiança de 95% (p -level<0,05)

Fazendo uma análise pormenorizada aos dados na tabela 4.7, conjuntamente com a tabela 4.8, referentes às medições feitas no punho dos operadores, pode afirmar-se, para as duas tarefas, com um nível de confiança de 95% o seguinte:

- Para os ensaios relativos à primeira tarefa (com a ferramenta *Multicutter*), verificou-se um aumento significativo (p -level<0,05) nos valores de a_{hv} registados nos ensaios em corte, comparativamente com os valores registados nos ensaios em vazio. Verificou-se também que as luvas tipo 4 apresentam o valor mais elevado de a_{hv} , comparativamente aos outros tipos de luvas.
- Para os ensaios relativos à segunda tarefa (com a ferramenta *Sabre-Saw*), verificou-se uma diminuição significativa (p -level<0,05) do valor de a_{hv} (≈ 2 -5 m.s⁻²), nos ensaios em vazio, comparativamente com os ensaios em corte.

De salientar ainda um aumento significativo ($p\text{-level}<0,05$) de a_{hv} entre os valores registados com as luvas tipo 4 e as restantes luvas.

Estabelecendo uma análise geral aos valores obtidos da vibração total, a_{hv} , transmitida ao punho dos operadores, verifica-se que em ambas as ferramentas ocorreu uma redução significativa ($p\text{-level}<0,05$) entre os ensaios em vazio comparativamente aos ensaios realizados em corte. Isto significa que as características individuais, a aptidão dos operadores nas operações de corte e a introdução do material a cortar (neste caso madeira e aço) influenciaram a vibração total recebida no punho.

Em relação à ferramenta *Multicutter*, os resultados de $p\text{-level}$ revelaram que o valor de a_{hv} medido no punho nos ensaios em corte sem luvas, era estatisticamente inferior ($\approx 36\%$) ao valor de a_{hv} verificado nos ensaios com luvas tipo 1 e tipo 4 (fato que se verificou em 97% dos operadores). Podemos daqui concluir que, nem todos os tipos de luvas anti-vibratórias atenuam a vibração total transmitida ao punho. Verificou-se mesmo, que as luvas tipo 1 e tipo 4 aumentam significativamente ($p\text{-level}<0,01$) as vibrações recebidas no punho dos operadores.

No caso da ferramenta *Sabre-Saw*, é de notar que não foram detetadas diferenças estatisticamente significativas nos valores de a_{hv} nos ensaios em corte, medidos sem luvas, comparativamente com os ensaios com luvas. Contudo, importa referir que foi registada uma diminuição não significativa ($p\text{-level}>0,05$) nos valores de vibração recebidos no punho, nos ensaios em corte, sem luvas, comparativamente com os ensaios com luvas tipo 4, de $\approx 10\%$ do valor de a_{hv} em 53% dos operadores ($n= 32$ operadores). Ou seja, verificou-se mais uma vez que as luvas anti-vibratórias do tipo 4 ampliam a vibração recebida no punho dos operadores, comparativamente aos ensaios sem luvas.

No entanto, numa análise global para a realização da tarefa 2, constatou-se que os valores de a_{hv} medidos com e sem luvas anti-vibratórias, são em tudo semelhantes.

Desta forma, apesar de algumas diferenças significativas ($p\text{-level}<0,05$), foram construídos dois gráficos que são apresentados na figura 4.3, um referente à utilização da ferramenta *Multicutter* e outro à utilização da ferramenta *Sabre-Saw*, para ilustrar a vibração transmitida ao punho dos operadores, em contexto simulado de trabalho, com e sem a utilização de luvas anti-vibratórias.

Depois de uma breve análise aos gráficos da figura 4.3, é de notar uma grande amplitude nos valores de a_{hv} registados para cada um dos ensaios no que respeita às duas tarefas. Este fato aponta para que tenha existido uma grande variabilidade no amortecimento obtido com as luvas, variando entre operadores e entre diferentes tipos de luvas, o que vai ao encontro das conclusões

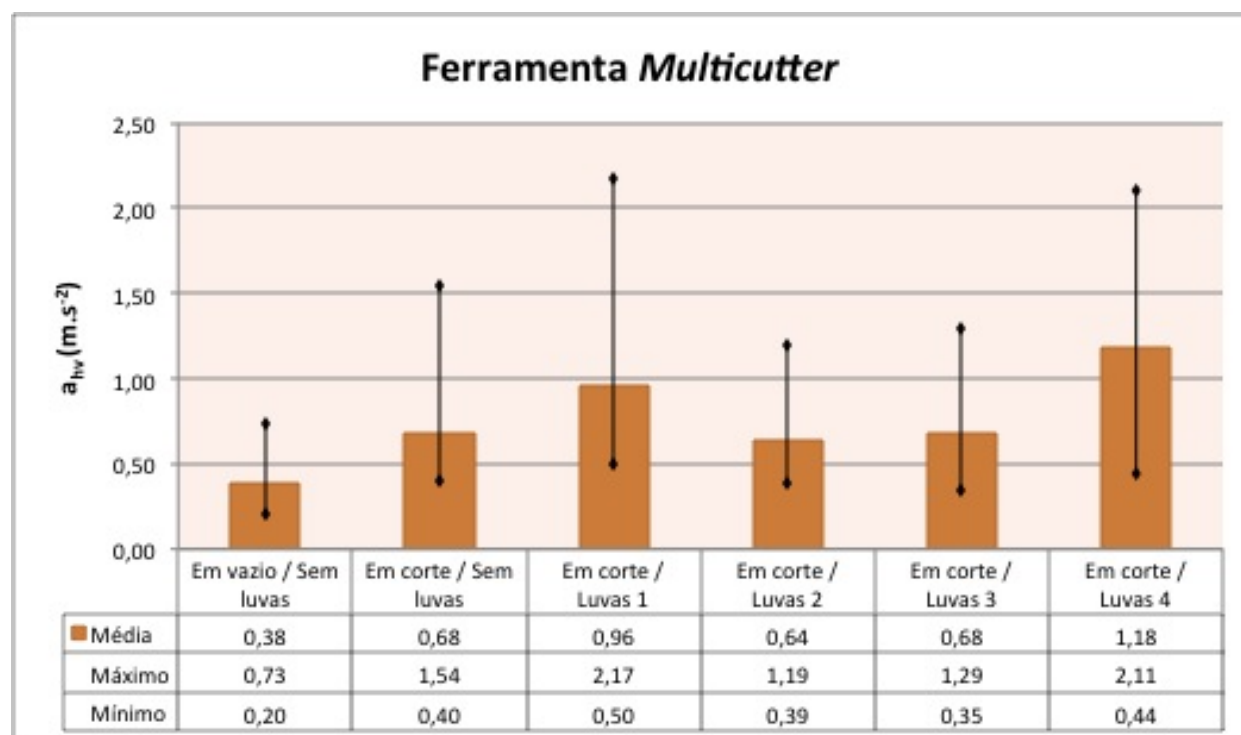
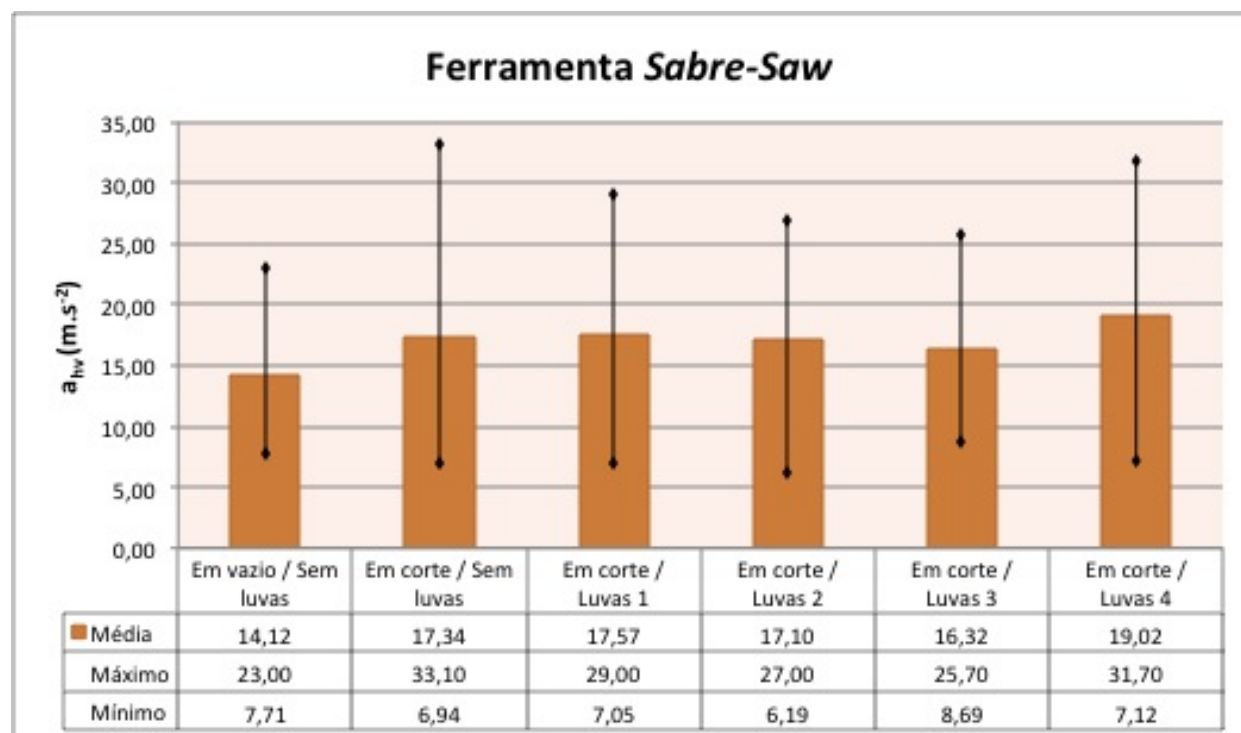
(a) Valores de a_{hv} medidos no punho dos operadores quando executavam a tarefa 1, para os diferentes ensaios(b) Valores de a_{hv} medidos no punho dos operadores quando executavam a tarefa 2, para os diferentes ensaios

Figura 4.3: Gráficos ilustrativos dos valores totais de vibração, a_{hv} , transmitidos ao punho dos operadores (média, máximo e mínimo), para cada um dos seis ensaios, nas medições feitas para as duas tarefas ($n= 32$ operadores)

registadas por alguns autores (R. G. Dong, McDowell, et al., 2005).

4.4 Análise comparativa da vibração total emitida pelas ferramentas e da vibração total efetivamente transmitida ao punho dos operadores

Um dos objetivos deste trabalho, consistia em verificar se a vibração total, a_{hv} , emitida pelas ferramentas elétricas manuais (medida quando o acelerómetro se encontra colocado nas pegadas das ferramentas - tabela 4.5) é a mesma que a vibração transmitida ao punho dos operadores (medida quando o acelerómetro se encontra colocado no punho dos operadores - tabela 4.7). De forma a ter uma análise dos dados mais simples e facilitada, agregaram-se os registos das tabelas acima mencionadas na tabela 4.9.

Tabela 4.9: Comparação dos valores totais de vibração, registados pelo acelerómetro colocado na pega das ferramentas *Multicutter* e *Sabre-Saw* ($n= 8$ operadores), com os valores totais de vibração registados pelo acelerómetro quando colocado no punho dos operadores ($n= 32$ operadores)

	Medições na pega a_{hv} (m.s ⁻²) Média (Min-Máx)	Medições no punho a_{hv} (m.s ⁻²) Média (Min-Máx)
Ferramenta <i>Multicutter</i>		
Ensaio em vazio		
Sem luvas	18,35 (13,60-24,30)	0,38 (0,20-0,73)
Ensaio em corte		
Sem luvas	18,59 (15,00-23,40)	0,68 (0,40-1,54)
Luvas 1	16,05 (13,40-19,00)	0,96 (0,50-2,17)
Luvas 2	16,13 (10,80-20,50)	0,64 (0,39-1,19)
Luvas 3	16,58 (12,40-23,20)	0,68 (0,35-1,29)
Luvas 4	15,00 (11,40-19,40)	0,18 (0,44-2,11)
Ferramenta <i>Sabre-Saw</i>		
Ensaio em vazio		
Sem luvas	17,94 (16,00-20,90)	14,12 (7,71-23,00)
Ensaio em corte		
Sem luvas	19,91 (16,80-26,20)	17,34 (6,94-33,10)
Luvas 1	18,29 (15,60-20,80)	17,57 (7,05-29,00)
Luvas 2	17,05 (15,20-19,10)	17,10 (6,19-27,00)
Luvas 3	18,06 (15,20-20,60)	16,32 (8,69-25,70)
Luvas 4	17,78 (15,40-20,90)	19,02 (7,12-31,70)

Recorreu-se mais uma vez ao teste estatístico não paramétrico *Wilcoxon Signed Ranks*, a fim de determinar os valores de *p-level* que resultaram da comparação dos valores de vibração registados nas pegas das ferramentas elétricas com os valores de vibração medidos no punho dos operadores para todos os ensaios. Os valores obtidos estão representados na tabela 4.10

Tabela 4.10: Valores de *p-level* obtidos pelo teste estatístico não paramétrico *Wilcoxon Signed Ranks*, quando se comparam os valores de a_{hv} emitidos pelas ferramentas ($n= 8$ operadores) e aqueles que são efetivamente transmitidos ao HAS ($n= 32$ operadores)

	a_{hv} (m.s ⁻²)					
	Ensaio em vazio		Ensaio em corte			
	Sem luvas	Sem luvas	Luvas 1	Luvas 2	Luvas 3	Luvas 4
Multicutter	0,012 ^(*)	0,012 ^(*)	0,012 ^(*)	0,012 ^(*)	0,012 ^(*)	0,012 ^(*)
Sabre-Saw	0,161	0,575	0,123	0,674	0,161	0,263

(*) Diferenças significativas com um nível de confiança de 95% (*p-level* < 0,05)

Depois de analisados os valores presentes na tabela 4.10, pode constatar-se que, em relação à primeira tarefa (ferramenta *Multicutter*), as conclusões que se podem tirar a partir dos seis ensaios realizados, apontam na mesma direção. O mesmo se verificou com a ferramenta *Sabre-Saw* (tarefa 2).

Assim, com o um nível de confiança de 95%, pode afirmar-se que:

- Em relação à tarefa com a ferramenta *Multicutter* (tarefa 1), verificou-se que a vibração total, a_{hv} , emitida pela ferramenta é estatisticamente superior (≈ 16 m.s⁻²) à efetivamente transmitida ao punho, em todos os ensaios (transmissibilidade < 1), tal como sucedeu nas investigações realizadas por outros autores, embora com outro tipo de ferramentas (Dewangan & Tewari, 2008);
- Para a tarefa com a ferramenta *Sabre-Saw* (tarefa 2), embora não tenham sido verificadas diferenças significativas entre os ensaios com e sem a utilização de luvas anti-vibratórias, de uma maneira geral, através da tabela 4.9, também se pode constatar que a vibração total, a_{hv} , emitida pela ferramenta, é superior (≈ 2 m.s⁻²) à efetivamente transmitida ao punho (transmissibilidade < 1), à semelhança do que acontece com os ensaios realizados com a ferramenta *Multicutter*. No entanto, constatou-se que a utilização das luvas tipo 4 e do tipo 2 aumentou a vibração total transmitida ao punho dos operadores, o que indica que este tipo de luvas apresenta uma transmissibilidade > 1, o que vai ao encontro das conclusões apontadas por Xu et al. (2009) na sua investigação.

Desta forma, pode afirmar-se que dependendo da ferramenta elétrica em questão, a vibração total transmitida ao punho dos operadores, pode aumentar ou diminuir em relação à vibração que é emitida pelas ferramentas. Seguidamente apresentam-se algumas razões que podem justificar a origem desta situação:

- O nível de esforço que os operadores realizam na execução da tarefa 2 (com a ferramenta *Sabre-Saw*) é bastante superior ao realizado quando se executa a tarefa 1 (com a ferramenta *Multicutter*), podendo haver uma amplificação da vibração transmitida ao punho, quando o esforço realizado pelos músculos do antebraço seja bastante grande;
- Pelo facto de ambas as ferramentas serem seguras pelas duas mãos, é possível que tenha havido uma distribuição desigual do esforço entre as duas mãos, isto é, ter-se realizado um esforço maior com a mão direita na ferramenta *Sabre-Saw* e o contrário com a *Multicutter*. Tal não é possível averiguar, pois todas as medições foram feitas na mão dominante dos operadores (mão direita);
- Influência que a frequência das vibrações pode ter no comportamento (ampliação ou atenuação) da transmissão da vibração para o punho. Este ponto será analisado em maior detalhe na seção 4.5 pois será feita uma análise detalhada em frequência da vibração emitida pelas ferramentas e da vibração efetivamente transmitida ao punho dos operadores.

4.5 Valores não ponderados de a_{hv} em frequência, medidos na pega das ferramentas e no punho dos operadores, durante os ensaios em corte

Para além dos estudos efetuados neste trabalho relativamente aos valores totais de a_{hv} medidos na pega das ferramentas e no punho dos operadores, foi também realizada uma análise em frequência, na banda de 1/3 de oitava, da vibração total emitida pelas ferramentas e da vibração efetivamente recebida no punho dos operadores.

Em primeiro lugar, pela análise da tabela 4.11, verificou-se que os valores da aceleração de vibração em frequência, emitida pela ferramenta *Multicutter*, eram mais elevados do que na ferramenta *Sabre-Saw*, nomeadamente para a gama de frequências 250-1250 Hz, onde se verificaram os valores de vibração mais elevados em toda a banda de 1/3 de oitava. Concluiu-se também que a ferramenta *Multicutter* tem uma predominância da vibração emitida nas altas frequências (250-1250 Hz), ao passo que a ferramenta *Sabre-Saw* apresenta a sua gama de

frequências dominante em 250-400 Hz, apresentando também picos de aceleração na gama de frequências 40-50 Hz, ou seja, a vibração emitida predomina nas médias e baixas frequências (figuras 4.4(a) e 4.5(a)).

Tabela 4.11: Valores da vibração total, a_{hv} , não ponderada em frequência (média (desvio padrão)), medidos na pega das ferramentas (n= 8 operadores) e no punho dos operadores (n= 32 operadores) durante os ensaios em corte, sem luvas

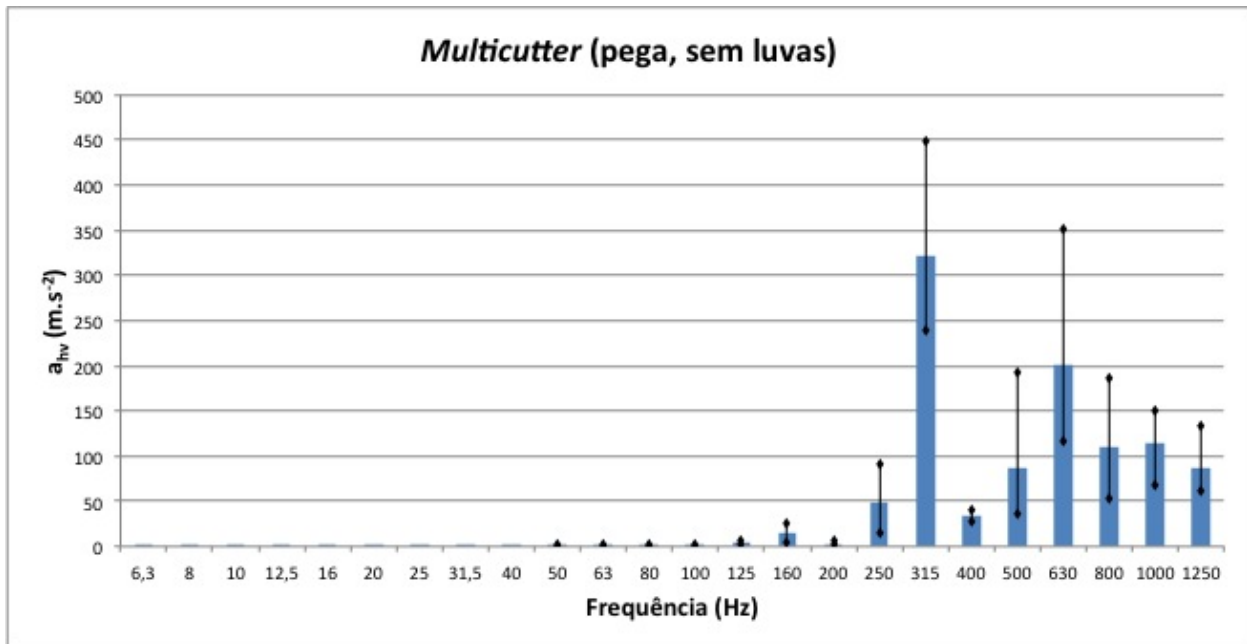
Frequência (Hz)	<i>Multicutter (m.s⁻²)</i>		<i>Sabre-Saw (m.s⁻²)</i>	
	Pega	Punho	Pega	Punho
	Sem luvas	Sem luvas	Sem luvas	Sem luvas
6,3	0,19 (0,06)	0,16 (0,05)	0,51 (0,91)	0,21 (0,09)
8	0,20 (0,07)	0,17 (0,05)	0,54 (0,88)	0,22 (0,08)
10	0,23 (0,09)	0,22 (0,09)	0,58 (1,00)	0,23 (0,09)
12,5	0,24 (0,12)	0,21 (0,10)	0,65 (1,18)	0,29 (0,10)
16	0,23 (0,12)	0,18 (0,06)	0,77 (1,44)	0,39 (0,14)
20	0,27 (0,14)	0,18 (0,06)	1,05 (1,46)	0,72 (0,30)
25	0,29 (0,13)	0,20 (0,06)	1,41 (1,37)	1,33 (0,69)
31,5	0,29 (0,10)	0,24 (0,06)	1,48 (1,75)	1,55 (0,44)
40	0,37 (0,16)	0,29 (0,08)	11,53 (4,51)	10,97 (5,87)
50	0,82 (0,74)	0,35 (0,11)	53,32 (7,21)	48,52 (17,26)
63	0,88 (0,75)	0,40 (0,17)	5,06 (2,27)	3,28 (1,16)
80	0,97 (0,76)	0,30 (0,21)	8,54 (3,77)	2,71 (1,37)
100	0,99 (0,53)	0,21 (0,19)	20,61 (10,90)	9,00 (3,60)
125	3,89 (2,21)	0,39 (0,63)	11,68 (5,17)	3,15 (1,69)
160	15,97 (7,09)	1,12 (1,08)	10,93 (4,08)	2,30 (1,02)
200	3,09 (1,55)	0,25 (0,25)	14,23 (4,06)	1,45 (0,81)
250	47,96 (28,14)	0,98 (1,47)	38,11 (11,06)	1,62 (0,83)
315	321,35 (68,61)	7,25 (3,78)	42,05 (13,25)	1,07 (0,63)
400	34,27 (4,76)	0,56 (0,28)	24,92 (5,45)	0,58 (0,35)
500	86,54 (63,40)	0,59 (0,66)	17,38 (3,32)	0,33 (0,20)
630	201,65 (90,34)	1,43 (0,85)	15,48 (3,27)	0,22 (0,19)
800	111,04 (51,81)	0,50 (0,38)	14,55 (4,26)	0,17 (0,22)
1000	113,67 (26,93)	0,65 (0,39)	22,74 (6,02)	0,19 (0,25)
1250	86,79 (23,74)	0,34 (0,25)	16,75 (6,35)	0,18 (0,29)

Estabelece-se agora uma comparação da vibração total emitida em frequência (na banda de 1/3 de oitava), nos ensaios sem luvas, entre a pega da ferramenta e o punho do operador.

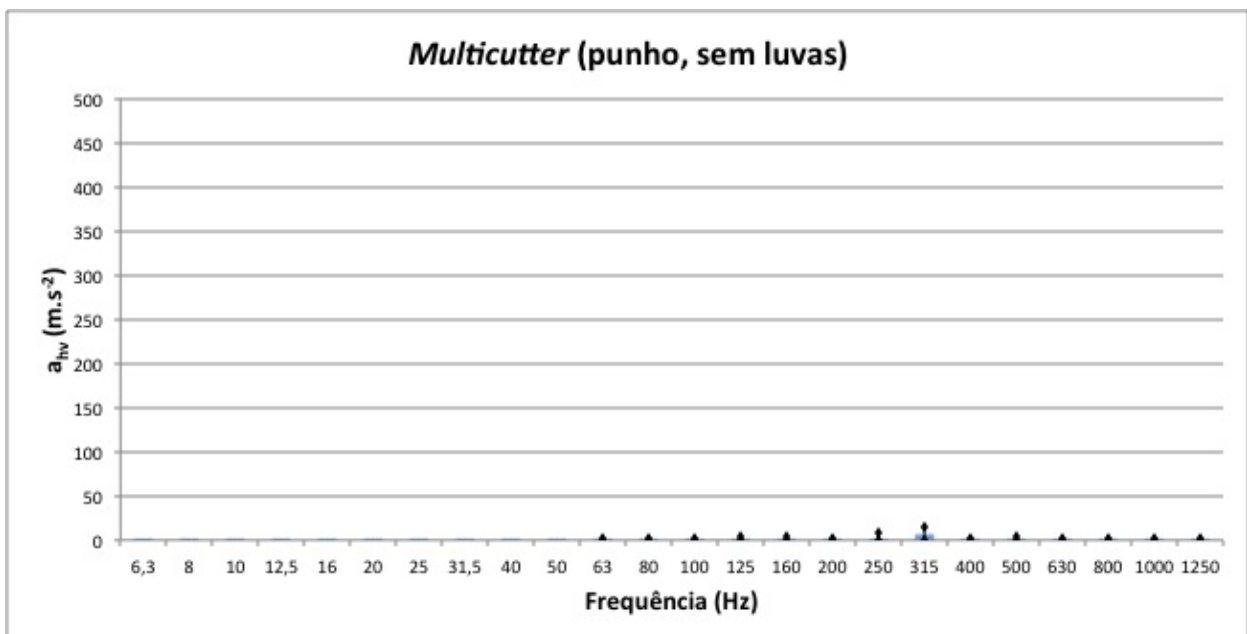
Assim, para a ferramenta *Multicutter*, verificou-se uma redução substancial da vibração acima dos 250 (Hz) nas medições realizadas no punho, comparativamente às medições realizadas na pega. Este fato vai ao encontro de uma das conclusões apontadas por R. G. Dong et al. (2004) no seu estudo, na medida em que menos de 10% das vibrações emitidas pela ferramenta, acima da frequência de 250 Hz, seriam transmitidas ao punho.

Outro fato que podemos evidenciar e que foi constatado também por alguns autores, foi a verificação de valores muito reduzidos de vibração medida no punho, para frequências acima de 315 Hz (Xu et al., 2009).

Estas constatações podem ser facilmente perceptíveis analisando a figura 4.4.



(a) Valores não ponderados de a_{hv} em frequência, medidos na pega da ferramenta Multicutter, sem luvas



(b) Valores não ponderados de a_{hv} em frequência, medidos no punho dos operadores, sem luvas

Figura 4.4: Gráficos ilustrativos dos valores não ponderados de a_{hv} em frequência (média, máximo e mínimo), medidos na pega da ferramenta ($n=8$ operadores) e no punho dos operadores ($n=32$ operadores), para a tarefa com a Multicutter, sem luvas

Para a ferramenta *Sabre-Saw* e de acordo com os valores da tabela 4.11 e com o espectro de vibração representado na figura 4.5(a), pode verificar-se que, para esta tarefa, a frequência de vibração dominante se situa nos intervalos de 250-400 Hz e de 40-50 Hz (na banda de 1/3 de oitava). Significa que a maioria da vibração emitida pela ferramenta se situa nesta gama de frequências.

Depois de analisados os valores não ponderados de a_{hv} em frequência entre as medições realizadas na pega, e as medições no punho dos operadores, nos ensaios realizados sem luvas, constatou-se uma redução substancial da vibração, nas frequências acima de 160 Hz nas medições realizadas no punho. Contudo, uma redução similar não foi verificada nos picos de vibração da gama de frequências 40-50 Hz. Mais uma vez, de acordo com R. G. Dong et al. (2004) e de maneira análoga à ferramenta *Multicutter*, constatou-se que apenas 10% da vibração emitida pela ferramenta, nas frequências acima de 250 Hz, foi transmitida ao punho dos operadores.

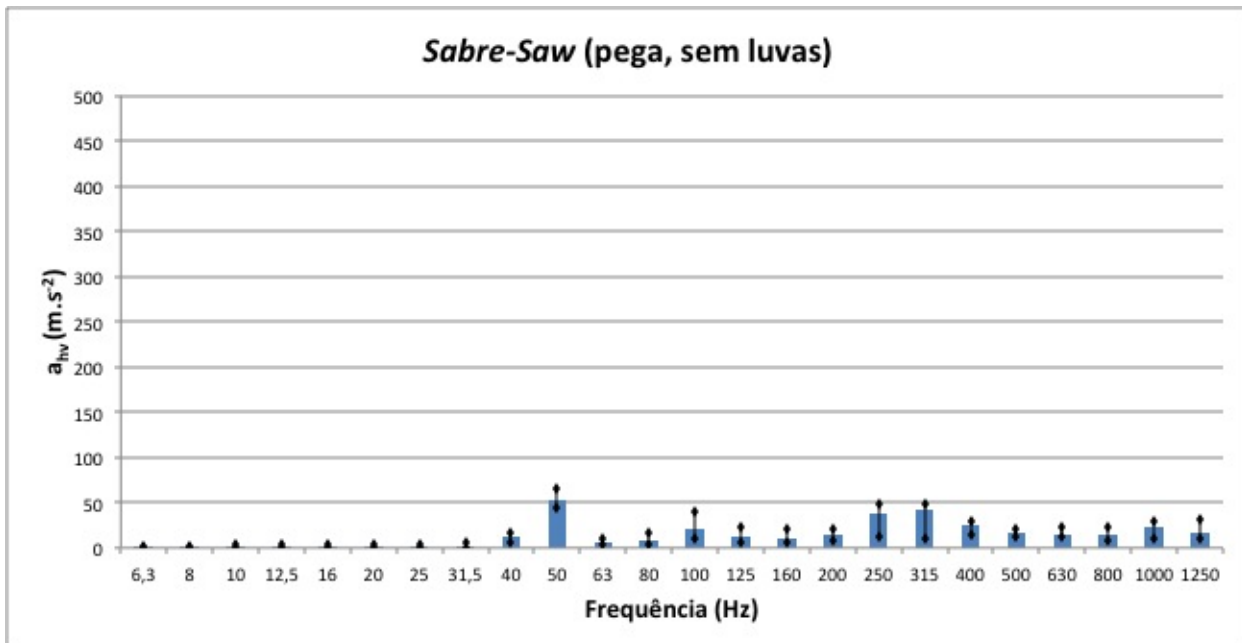
Verificaram-se também algumas conclusões apontadas por (Xu et al., 2009) nas suas investigações, sendo elas as seguintes:

- A gama de frequências dominante no punho dos operadores, ou seja, onde se registaram os valores de vibração mais elevados, situa-se no intervalo 20-200 Hz;
- À semelhança do que foi verificado com a ferramenta *Multicutter*, verificou-se que os valores de vibração registados no punho para a gama de frequências acima de 315 Hz, são muito reduzidos ($< 1,00 \text{ m.s}^{-2}$).

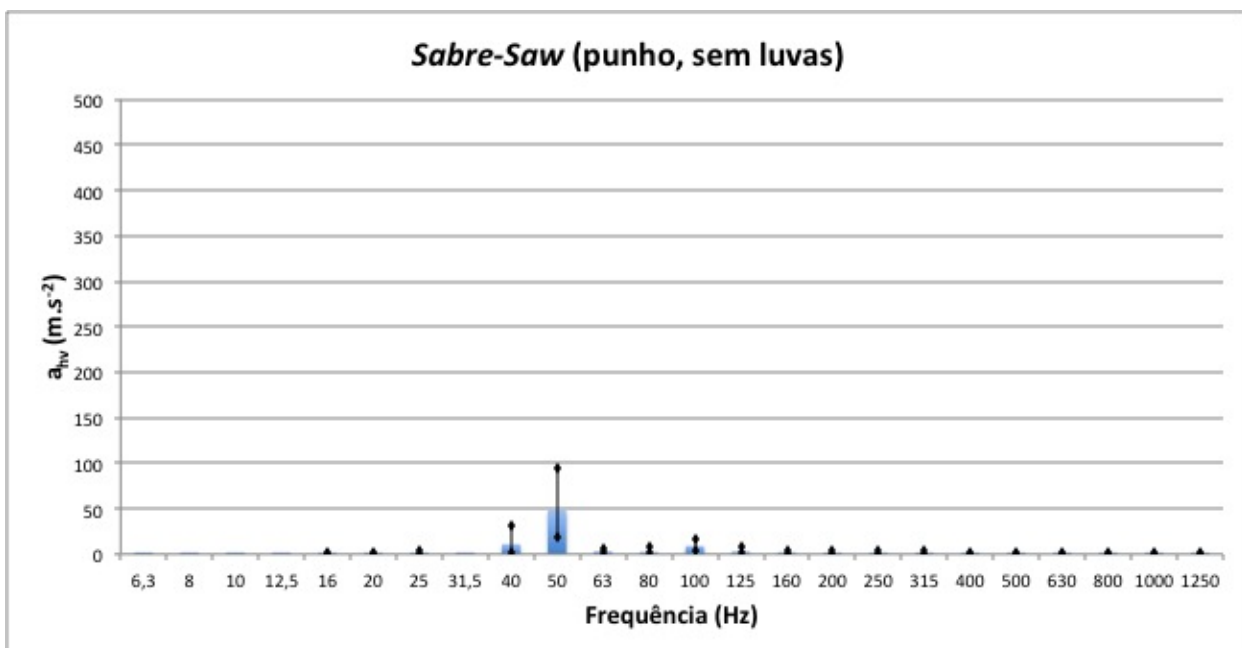
4.6 Valores não ponderados de a_{hv} em frequência, medidos no punho dos operadores para os vários ensaios, utilizando a ferramenta *Multicutter*

Nesta seção e na seguinte, pretende-se verificar a existência de alguma relação entre as medições no punho efetuadas com e sem luvas anti-vibratórias.

Assim, para os ensaios com a ferramenta *Multicutter* verificou-se que as luvas anti-vibratórias não atenuam a vibração total, não ponderada, recebida no punho dos operadores na gama de frequências de 1/3 de oitava. As medições efetuadas sem luvas e com luvas, acabaram por não revelar diferenças, particularmente acima dos 250 Hz (gama de frequências dominante),



(a) Valores não ponderados de a_{hv} em frequência, medidos na pega da ferramenta Sabre-Saw, sem luvas



(b) Valores não ponderados de a_{hv} em frequência, medidos no punho dos operadores, sem luvas

Figura 4.5: Gráficos ilustrativos dos valores não ponderados de a_{hv} em frequência (média, máximo e mínimo), medidos na pega da ferramenta ($n= 8$ operadores) e no punho dos operadores ($n= 32$ operadores), para a tarefa com a Sabre-Saw, sem luvas

bem como em toda a gama de frequências (veja-se a tabela 4.12 e os gráficos das figuras apresentadas no Apêndice A).

Tabela 4.12: Valores da vibração total, a_{hv} , não ponderada em frequência (média (desvio padrão)), medidos no punho dos operadores (n= 32 operadores) nos ensaios em corte, para a tarefa 1

Frequência (Hz)	Medições no punho ($m.s^{-2}$)				
	Sem luvas	Luvras 1	Luvras 2	Luvras 3	Luvras 4
6,3	0,16 (0,05)	0,16 (0,07)	0,17 (0,07)	0,16 (0,06)	0,18 (0,09)
8	0,17 (0,05)	0,19 (0,09)	0,19 (0,08)	0,18 (0,06)	0,20 (0,09)
10	0,22 (0,09)	0,25 (0,13)	0,25 (0,11)	0,25 (0,11)	0,27 (0,14)
12,5	0,21 (0,10)	0,25 (0,14)	0,23 (0,10)	0,23 (0,11)	0,25 (0,12)
16	0,18 (0,06)	0,21 (0,11)	0,19 (0,07)	0,19 (0,07)	0,21 (0,11)
20	0,18 (0,06)	0,19 (0,08)	0,17 (0,06)	0,17 (0,06)	0,19 (0,09)
25	0,20 (0,06)	0,19 (0,09)	0,19 (0,06)	0,17 (0,08)	0,19 (0,08)
31,5	0,24 (0,06)	0,21 (0,09)	0,20 (0,07)	0,19 (0,09)	0,21 (0,09)
40	0,29 (0,08)	0,26 (0,11)	0,25 (0,10)	0,23 (0,11)	0,23 (0,10)
50	0,35 (0,11)	0,37 (0,18)	0,35 (0,17)	0,32 (0,14)	0,29 (0,13)
63	0,40 (0,17)	0,54 (0,29)	0,49 (0,27)	0,41 (0,20)	0,42 (0,20)
80	0,30 (0,21)	0,58 (0,35)	0,47 (0,26)	0,34 (0,18)	0,50 (0,28)
100	0,21 (0,19)	0,41 (0,24)	0,30 (0,18)	0,24 (0,21)	0,47 (0,36)
125	0,39 (0,63)	0,52 (0,32)	0,37 (0,25)	0,39 (0,34)	0,73 (0,52)
160	1,12 (1,08)	1,15 (0,68)	0,85 (0,49)	0,72 (0,56)	1,41 (1,02)
200	0,25 (0,25)	0,32 (0,25)	0,18 (0,11)	0,20 (0,16)	0,37 (0,30)
250	0,98 (1,47)	2,09 (1,92)	0,86 (1,03)	1,42 (1,31)	4,87 (4,58)
315	7,25 (3,78)	13,81 (6,46)	5,54 (2,98)	7,38 (3,64)	17,34 (6,98)
400	0,56 (0,28)	0,98 (0,46)	0,42 (0,21)	0,51 (0,25)	1,16 (0,48)
500	0,59 (0,66)	0,63 (0,47)	0,30 (0,24)	0,46 (0,34)	1,11 (1,11)
630	1,43 (0,85)	1,87 (1,16)	1,00 (0,63)	1,29 (0,80)	1,74 (1,26)
800	0,50 (0,38)	0,43 (0,25)	0,27 (0,11)	0,29 (0,18)	0,54 (0,29)
1000	0,65 (0,39)	0,55 (0,37)	0,37 (0,16)	0,30 (0,19)	0,45 (0,22)
1250	0,34 (0,25)	0,23 (0,12)	0,18 (0,08)	0,12 (0,07)	0,17 (0,16)

4.7 Valores não ponderados de a_{hv} em frequência, medidos no punho dos operadores para os vários ensaios, utilizando a ferramenta *Sabre-Saw*

À semelhança dos ensaios com a ferramenta *Multicutter*, também para a tarefa 2, com a ferramenta *Sabre-Saw* se verificou que a utilização de luvas anti-vibratórias não atenua a vibração total, não ponderada, em frequência medida no punho dos operadores, na gama de

frequências de 1/3 de oitava. As medições efetuadas no punho dos operadores não revelaram diferenças entre os ensaios com e sem luvas anti-vibratórias nas frequências dominantes (250-400 Hz), assim como os picos de vibração registados nas frequências de 40-50 Hz também não sofreram qualquer tipo de atenuação com a utilização de luvas anti-vibratórias (veja-se a tabela 4.13 e os gráficos das figuras apresentadas no Apêndice A).

Tabela 4.13: Valores da vibração total, a_{hv} , não ponderada em frequência (média (desvio padrão)), medidos no punho dos operadores (n= 32 operadores) nos ensaios em corte, para a tarefa 2

Frequência (Hz)	Medições no punho (m.s ²)				
	Sem luvas	Luvras 1	Luvras 2	Luvras 3	Luvras 4
6,3	0,21 (0,09)	0,23 (0,11)	0,23 (0,10)	0,25 (0,14)	0,23 (0,11)
8	0,22 (0,08)	0,24 (0,10)	0,26 (0,13)	0,26 (0,15)	0,24 (0,13)
10	0,23 (0,09)	0,25 (0,09)	0,28 (0,14)	0,28 (0,14)	0,27 (0,15)
12,5	0,29 (0,10)	0,30 (0,16)	0,34 (0,15)	0,31 (0,15)	0,31 (0,19)
16	0,39 (0,14)	0,37 (0,17)	0,41 (0,19)	0,38 (0,17)	0,36 (0,21)
20	0,72 (0,30)	0,58 (0,28)	0,60 (0,32)	0,61 (0,27)	0,58 (0,42)
25	1,33 (0,69)	0,98 (0,41)	1,02 (0,40)	1,02 (0,44)	0,92 (0,64)
31,5	1,55 (0,44)	1,41 (0,68)	1,50 (0,52)	1,44 (0,51)	1,28 (0,69)
40	10,97 (5,87)	12,11 (7,74)	11,60 (5,12)	10,81 (5,35)	13,10 (5,64)
50	47,02 (15,30)	48,84 (13,10)	47,67 (15,31)	45,71 (13,05)	53,23 (15,22)
63	3,28 (1,16)	3,57 (0,79)	3,39 (0,99)	3,23 (0,77)	4,12 (0,78)
80	2,71 (1,37)	3,27 (1,05)	2,61 (0,74)	2,27 (0,66)	3,74 (1,12)
100	9,00 (3,60)	7,71 (2,87)	7,34 (2,86)	5,98 (1,88)	7,42 (2,29)
125	3,15 (1,69)	3,20 (1,20)	3,23 (1,50)	2,97 (0,81)	3,93 (0,97)
160	2,30 (1,02)	2,47 (0,87)	2,41 (0,85)	2,32 (0,74)	2,78 (0,58)
200	1,45 (0,81)	1,54 (0,66)	1,66 (0,82)	1,54 (0,73)	1,84 (0,55)
250	1,62 (0,83)	1,81 (0,66)	1,69 (0,77)	2,16 (0,68)	3,02 (0,81)
315	1,07 (0,63)	1,04 (0,41)	0,88 (0,38)	1,17 (0,43)	1,66 (0,54)
400	0,58 (0,35)	0,53 (0,26)	0,50 (0,27)	0,64 (0,36)	0,80 (0,25)
500	0,33 (0,20)	0,37 (0,22)	0,37 (0,20)	0,47 (0,30)	0,49 (0,23)
630	0,22 (0,19)	0,24 (0,17)	0,25 (0,16)	0,31 (0,23)	0,28 (0,25)
800	0,17 (0,22)	0,18 (0,19)	0,18 (0,14)	0,24 (0,22)	0,21 (0,27)
1000	0,19 (0,25)	0,18 (0,27)	0,16 (0,14)	0,24 (0,27)	0,19 (0,29)
1250	0,18 (0,29)	0,17 (0,30)	0,15 (0,17)	0,21 (0,27)	0,16 (0,28)

Capítulo 5

Conclusões e Recomendações

5.1 Principais conclusões

Os resultados obtidos na aplicação da metodologia da investigação foram descritos e discutidos no capítulo anterior pelo que, neste capítulo apenas se apresentam as conclusões gerais, sistematizadas nos seguintes parágrafos:

1. A medição das vibrações na pega das ferramentas e no punho dos operadores, não foi simultânea. Nesta investigação, constatou-se que a variabilidade (CV) das medições efetuadas na pega e no punho se situavam abaixo dos 14% e 10% para as ferramentas *Multicutter* e *Sabre-Saw* respetivamente. Este fato evidencia que o conjunto de dados registado é razoavelmente homogéneo.

Pode também constatar-se que, para um nível de confiança de 95%, a variabilidade da vibração emitida pelas ferramentas não difere significativamente ($p\text{-level} < 0,05$) entre os ensaios em vazio e os ensaios em corte. Nestes casos pode constatar-se que as operações de corte e o modo operativo de cada operador, derivado das características técnicas da luva, da força de preensão e de empurrar da ferramenta, a pressão de contacto entre a ferramenta e a mão do operador, a postura do punho, do braço, do corpo e a própria aptidão do operador, não interferem significativamente ($p\text{-level} < 0,05$) com a variabilidade da vibração emitida pela ferramenta.

No punho dos operadores também não foram registadas diferenças significativas ($p\text{-level} < 0,05$) na variabilidade de vibração recebida, entre os ensaios realizados em vazio, comparativamente com os ensaios realizados em corte, para ambas as ferramentas. Tal fato poderá dever-se à instrução que foi obtida pelos operadores antes de efetuarem os

ensaios, permitindo assim que mantivessem uma postura de trabalho muito semelhante entre si e consequentemente um nível de variabilidade idêntico entre ensaios.

Em ambas as ferramentas verificou-se ainda que, a variabilidade dos valores de a_{hv} medidos no punho ($\approx 2-5\%$ CV) era superior à registada na pega ($\approx 7-14\%$ CV). A transmissibilidade da vibração da pega da ferramenta para o punho dos operadores é afetada por diferentes variáveis tais como a força de preensão da ferramenta, da postura e das características individuais do operador. Provavelmente, o aumento de variabilidade da vibração medida no punho é o resultado da variabilidade existente nestas variáveis que afetam a transmissibilidade da vibração ao punho do operador.

2. Verificou-se que a vibração emitida pelas ferramentas manuais elétricas nem sempre coincide com o valor declarado pelos fabricantes. Para a *Multicutter*, os valores emitidos, nos vários ensaios, foram superiores ao valor declarado ($18,59 > 13,1 \text{ m.s}^{-2}$; $16,05 > 13,1 \text{ m.s}^{-2}$; $16,13 > 13,1 \text{ m.s}^{-2}$; $16,58 > 13,1 \text{ m.s}^{-2}$; $15,00 > 13,1 \text{ m.s}^{-2}$), o que poderá ser devido ao fato dos valores declarados terem sido obtidos através de ensaios realizados em materiais com uma menor rigidez do que a que foi utilizada neste estudo. Por outro lado, no caso da ferramenta *Sabre-Saw* constatou-se que os valores de vibração obtidos nos vários ensaios são geralmente inferiores ao valor declarado pelo fabricante ($18,29 < 19,0 \text{ m.s}^{-2}$; $17,05 < 19,0 \text{ m.s}^{-2}$; $18,06 < 19,0 \text{ m.s}^{-2}$; $17,78 < 19,0 \text{ m.s}^{-2}$), embora a diferença não seja substancial. Deste modo, pode incorrer-se em erro, caso se opte pela utilização dos valores declarados pelo fabricante para estimar o valor total da vibração transmitida ao punho dos operadores.

3. Quando se efetuam medições da vibração total emitida na pega das ferramentas elétricas, deve especificar-se se essas medições são feitas com ou sem a utilização de luvas anti-vibratórias, uma vez que esse fator irá afetar os valores das medições. (Esta circunstância não se encontra claramente mencionada na Norma ISO 5349-1 (2001)).

Neste estudo, verificou-se que em 75% ($n=8$ operadores) dos operadores, nos ensaios em corte, os valores de a_{hv} medidos nas pegadas das ferramentas, sem luvas, foram superiores aos valores registados com luvas. Este aumento foi de $\approx 2-3 \text{ m.s}^{-2}$ nas ferramentas *Multicutter* e *Sabre-Saw*. Este fato pode estar associado a fatores como as características técnicas da luva, a força de preensão da ferramenta, a força exercida na ferramenta durante o corte, a pressão de contato entre a ferramenta e a mão do operador, a postura do punho, do braço, do corpo e a própria aptidão do operador.

4. Numa análise geral aos valores obtidos da vibração total, a_{hv} , medida no punho dos

operadores, verifica-se que em ambas as ferramentas ocorreu um aumento significativo ($p\text{-level}<0,05$) entre os ensaios em corte comparativamente aos ensaios realizados em vazio. Isto significa que as características individuais, a aptidão dos operadores nas operações de corte e a introdução do material a cortar (neste caso madeira e aço) influenciaram a vibração total recebida no punho.

Constatou-se também que, nem sempre as luvas atenuam a vibração emitida pelas ferramentas e transmitida ao punho dos operadores. Particularmente para a ferramenta *Multicutter*, verificou-se até, que as luvas tipo 1 e tipo 4 aumentam significativamente ($p\text{-level}<0,01$) as vibrações recebidas no punho dos operadores em $\approx 36\%$ (fato que se verificou em 97% dos operadores). Para a ferramenta *Sabre-Saw* concluiu-se que os valores de a_{hv} medidos com e sem luvas, são em tudo semelhantes, muito embora se tenha constatado novamente uma ampliação, estatisticamente não significativa, da vibração recebida no punho, nos ensaios com as luvas tipo 4, em 53% dos operadores.

5. Constatou-se que o a_{hv} medido na pega das ferramentas é estatisticamente superior ao medido no punho dos operadores, na generalidade dos ensaios (transmissibilidade <1); aumento de $\approx 16 \text{ m.s}^{-2}$ na *Multicutter* e $\approx 2 \text{ m.s}^{-2}$ na *Sabre-Saw*.
6. Através de uma análise em frequência, na gama de 1/3 de oitava, às vibrações medidas na pega das ferramentas, verificou-se que a *Multicutter* apresenta valores totais de vibração em frequência superiores aos registados pela *Sabre-Saw*. A ferramenta *Multicutter* apresenta a sua gama dominante nas altas frequências (250-1250 Hz), ao passo que a ferramenta *Sabre-Saw* tem a sua gama de frequências dominante nas médias e baixas frequências (250-400 Hz), apresentando também picos de aceleração na gama de 40-50 Hz.
7. Verificou-se uma redução substancial da vibração medida no punho dos operadores acima das frequências de 250 Hz (na *Multicutter*) e 160-200 Hz (na *Sabre-Saw*), na gama de frequências de 1/3 de oitava. Este fato vai ao encontro de uma das conclusões apontadas por R. G. Dong et al. (2004) no seu estudo, na medida em que menos de 10% das vibrações emitidas pela ferramenta acima da frequência de 250 Hz, seriam transmitidas ao punho.

À semelhança da conclusão obtida por Xu et al. (2009), constatou-se também que, acima da frequência de 315 Hz, os valores de vibração registados eram consideravelmente baixos ($< 1,00 \text{ m.s}^{-2}$), em ambas as ferramentas. Nos ensaios com a ferramenta *Sabre-Saw*, verificou-se outra conclusão apontada pelos mesmos autores que diz respeito à gama de

frequências dominante no punho dos operadores se situar no intervalo 20-200 Hz.

8. Verificou-se também que, as medições efetuadas no punho, com e sem luvas anti-vibratórias, não apresentam diferenças estatísticas nos valores totais de vibração medidos na gama de frequências de 1/3 de oitava, em ambas as ferramentas.

Desta forma, em tarefas que envolvam a utilização de ferramentas elétricas, deve ter-se a preocupação de escolher luvas anti-vibratórias que proporcionem ao operador um bom conforto independentemente de serem ou não consideradas anti-vibratórias. As características anatómicas das luvas, maleabilidade, ajustamento das luvas às mãos, forma de ligação/ articulação com o punho, facilidade de retirar e colocar as luvas e a sensibilidade que as luvas oferecem, são variáveis que deverão ser consideradas na seleção das luvas a adoptar.

É de salientar que as conclusões apresentadas anteriormente não são universais, mas válidas para as condições e ferramentas utilizadas neste estudo.

5.2 Recomendações

A avaliação ergonómica dos postos de trabalho e, particularmente, a quantificação das vibrações recebidas no HAS dos operadores, é cada vez mais importante, no sentido de tentar prevenir eventuais lesões nos sistemas vascular, neurológico e musculo-esquelético do sistema mão-braço (seção 2.7). Desta forma, espera-se que os estudos de avaliação ergonómica relativos a trabalhos com ferramentas elétricas manuais continuem a aumentar, de maneira a tentar reduzir os efeitos nocivos que o manuseamento deste tipo de ferramentas provoca na saúde dos operadores, quando não utilizadas corretamente.

Deste modo, surgem algumas oportunidades de desenvolvimento de investigações futuras, as quais são descritas de seguida:

- Realizar um estudo semelhante ao que foi desenvolvido, embora com a realização de mais tarefas em contexto simulado de trabalho e que implicassem a utilização de mais ferramentas manuais elétricas diferentes, distintas entre si, de maneira a haver uma maior consistência de resultados, abrangendo a maioria das ferramentas utilizadas ao nível do setor da construção;
- Realizar ensaios complementares aos testes efetuados em ambiente controlado no laboratório, com testes em contexto real de trabalho, onde a força de preensão

da ferramenta elétrica e a força aplicada no corte poderão não ser constantes e consequentemente existir um espectro de vibração aleatório;

- Realizar ensaios com operadores esquerdinos, uma vez que no presente estudo todos tinham a mão direita como dominante;
- Avaliar e comparar o conforto sentido pelos operadores na execução das operações com as diferentes luvas anti-vibratórias e nas operações sem luvas;
- Identificar luvas anti-vibratórias com características técnicas que conduzam à redução da vibração transmitida ao punho (e também à palma da mão).

De forma a possibilitar uma análise mais aprofundada deste tema, estão disponibilizados três artigos científicos elaborados no seguimento da presente investigação, no Apêndice B.

Referências bibliográficas

- Adewusi, S. A., Rakheja, S., Marcotte, P., & Boutin, J. (2010). Vibration transmissibility characteristics of the human hand–arm system under different postures, hand forces and excitation levels. *Journal of Sound and Vibration*, 329(14), 2953-2971.
- Aiello, G., Scalia, G. L., Vallone, M., Catania, P., & Venticinque, M. (2012). Real time assessment of hand–arm vibration system based on capacitive MEMS accelerometers. *Computers and Electronics in Agriculture*, 85, 45-52.
- CBMApps. (n.d.). *Amplitude*. Obtido em 26 de Fevereiro de 2013, de <http://www.cbmapps.com/docs/31>.
- CCOHS. (2008(a), Outubro). *Why measure or evaluate vibration exposure?* Obtido em 21 de Fevereiro de 2013, de http://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/vibration/vibration_intro.html.
- CCOHS. (2008(b), Outubro). *Frequency*. Obtido em 1 de Março de 2013, de http://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/vibration/vibration_intro.html.
- CEN/TR 15350. (2006). Mechanical vibration—guideline for the assessment of exposure to hand-transmitted vibration using available information including that provided by manufacturers of machinery.
- Chang, C., Wang, M. J., & Lin, S. (1999). Evaluating the effects of wearing gloves and wrist support on hand-arm response while operating an in-line pneumatic screwdriver. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 24(5), 473-481.
- Cherng, J. G., Eksioglu, M., & Kizilaslan, K. (2009). Vibration reduction of pneumatic percussive rivet tools: Mechanical and ergonomic re-design approaches. *Applied Ergonomics*, 40(2), 256-266.
- Comissão Europeia. (1989). Directiva 89/391/CEE do Conselho de 12 de Junho de 1989 relativa à aplicação de medidas destinadas a promover a melhoria da segurança e da saúde dos trabalhadores no trabalho. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*, L183/1.
- Comissão Europeia. (1998). Directiva 98/37/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 22 de

- Junho de 1998 relativa à aproximação das legislações dos Estados-membros respeitantes às máquinas. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*, L207/1.
- Comissão Europeia. (2002). Directiva 2002/44/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de Junho de 2002 relativa às prescrições mínimas de segurança e saúde respeitantes à exposição dos trabalhadores aos riscos devidos aos agentes físicos (vibrações). *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*, L177/13.
- Comissão Europeia. (2006). Directiva 2006/42/CE do Parlamento Europeu e do Conselho relativa às máquinas. *Jornal Oficial da União Europeia*, L157/24.
- Dewangan, K. N., & Tewari, V. K. (2008). Characteristics of vibration transmission in the hand–arm system and subjective response during field operation of a hand tractor. *Biosystems Engineering*, 100(4), 535-546.
- Dong, R., Rakheja, S., Smutz, W., Schopper, A., Welcome, D., & Wu, J. (2002). Effectiveness of a new method (TEAT) to assess vibration transmissibility of gloves. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 30(1), 33-48.
- Dong, R. G., McDowell, T., Welcome, D., Smutz, W., Schopper, A., Warren, C., ... Rakheja, S. (2003). On-the-hand measurement methods for assessing effectiveness of anti-vibration gloves. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 32(4), 283-298.
- Dong, R. G., McDowell, T. W., Welcome, D. E., & Smutz, W. P. (2005). Correlations between biodynamic characteristics of human hand-arm system and the isolation effectiveness of anti-vibration gloves. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35(3), 205-216.
- Dong, R. G., Schopper, A., McDowell, T., Welcome, D. E., Wu, J., Smutz, W., ... Rakheja, S. (2004). Vibration energy absorption (VEA) in human fingers-hand-arm system. *Medical Engineering and Physics*, 26, 483-492.
- Dong, R. G., Welcome, D. E., & Wu, J. Z. (2005). Frequency weightings based on biodynamics of fingers-hand-arm system. *Industrial Health*, 43(3), 516-526.
- Edwards, D. J., & Holt, G. D. (2006). Hand-arm vibration exposure from construction tools: results of a field study. *Construction Management and Economics*, 24(2), 209-217.
- Falkiner, S. (2003). Diagnosis and treatment of hand-arm vibration syndrome. *Australian Family Physician*, 32(8).
- Fleming, S. L., Jansen, C. W., & Hasson, S. M. (1997). Effect of work glove and type of muscle action on grip fatigue. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 40(6), 601-612.
- Gerhardsson, L., Balogh, I., Hambert, P., Hjortsberg, U., & Karlsson, J. (2005). Vascular and nerve damage in workers exposed to vibrating tools. The importance of objective measurements of exposure time. *Applied Ergonomics*, 36(1), 55-60.

- Griffin, M. J. (1996). *Handbook of human vibration*. Londres: Academic Press.
- Griffin, M. J. (1998a). Evaluating the effectiveness of gloves in reducing the hazards of hand-transmitted vibration. *Occupational and Environmental Medicine*, 55(5), 340-348.
- Griffin, M. J. (1998b). Vibration. In J. M. Stellman (Ed.), *Encyclopaedia of occupational health and safety* (4^a ed., Vol. 2, p. 50.1-50.12). Geneve: International Labour Office.
- Griffin, M. J., Howarth, H. V. C., Pitts, P. M., Fischer, S., Kaulbars, U., Donati, P. M., & Bereton, P. F. (2009). *Guia de boas práticas não vinculativo para a aplicação da Directiva 2002/44/CE relativa às prescrições mínimas de segurança e saúde respeitantes à exposição dos trabalhadores aos riscos devidos aos agentes físicos (vibrações)*. Luxemburgo: Comissão Europeia.
- Hao, K. Y., Mei, L. X., & Ripin, Z. M. (2011). Tuned vibration absorber for suppression of hand-arm vibration in electric grass trimmer. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 41(5), 494-508.
- Hartung, E., Dupuis, H., & Scheffer, M. (1993). Effects of grip and push forces on the acute response of the hand-arm system under vibrating conditions. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 64(6), 463-467.
- Hewitt, S. (1998). Assessing the performance of anti-vibration gloves - a possible alternative to iso 10819, 1996. *Annals of Occupational Hygiene*, 42(4), 245-252.
- Instituto Nacional de Estatística. (n.d.). *Classificação portuguesa das actividades económicas, revisão 3*. Obtido em 11 de Março de 2013, de http://metaweb.ine.pt/sine/UIInterfaces/SineVers_Cat.aspx.
- ISO 10819. (1996). Mechanical vibration and shock - Hand-arm vibration - Method for the measurement and evaluation of the vibration transmissibility of gloves at the palm of the hand.
- ISO 5349. (1986). Mechanical vibration - Guidelines for the measurement and the assessment of human exposure to hand-transmitted vibration.
- ISO 5349-1. (2001). Mechanical vibration - Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration - Part 1: General requirements.
- ISO 5349-2. (2002). Mechanical vibration - Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration - Part 2: Practical guidance for measurement at the workplace.
- ISO 5805. (1997). Mechanical vibration and shock - Human exposure - Vocabulary.
- ISO 8727. (1997). Mechanical vibration and shock - Human exposure - Biodynamic coordinate systems.
- Karjalainen, A., & Niederlaender, E. (2004). *Population and Social Conditions: Occupational*

- Diseases in Europe in 2001*. Luxembourg: European Commission.
- Kihlberg, S., Attebrant, M., Gemne, G., & Kjellberg, A. (1995). Acute effects of vibration from a chipping hammer and a grinder on the hand-arm system. *Occupational and Environmental Medicine*, 52(11), 731-737.
- Larivière, C., Plamondon, A., Lara, J., Tellier, C., Boutin, J., & Dagenais, A. (2004). Biomechanical assessment of gloves. A study of the sensitivity and reliability of electromyographic parameters used to measure the activation and fatigue of different forearm muscles. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 34(2), 101-116.
- Lucas, F. (2007). Exigências funcionais para luvas anti-vibração. In 7º Congresso Internacional de Segurança, Higiene e Saúde no Trabalho. Centro de Congressos do Porto: Ordem dos Engenheiros - Região Norte.
- Marcotte, P., Aldien, Y., Boileau, P.-É., Rakheja, S., & Boutin, J. (2005). Effect of handle size and hand-handle contact force on the biodynamic response of the hand-arm system under z_h -axis vibration. *Journal of Sound and Vibration*, 283(3), 1071-1091.
- McGeoch, K. L., & Gilmour, W. H. (2000). Cross sectional study of a workforce exposed to hand-arm vibration: with objective tests and the Stockholm workshop scales. *Occupational and Environmental Medicine*, 57(1), 35-42.
- Ministério do Trabalho e da Solidariedade Social. (2006). Decreto-lei n.º 46/2006 de 24 de fevereiro. *Diário da República - I Série-A*(40), 1531-1538.
- Muralidhar, A., Bishu, R. R., & Hallbeck, M. S. (1999). The development and evaluation of an ergonomic glove. *Applied Ergonomics*, 30(6), 555-563.
- Palmer, K. T., Griffin, M. J., Syddall, H., Pannett, B., Cooper, C., & Coggon, D. (2001). Risk of Hand-Arm Vibration Syndrome According to Occupation and Sources of Exposure to Hand-Transmitted Vibration: A National Survey. *American Journal of Industrial Medicine*, 39(4), 389-396.
- Rakheja, S., Dong, R., Welcome, D., & Schopper, A. (2002). Estimation of tool-specific isolation performance of antivibration gloves. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 30(2), 71-87.
- Rimell, A. N., Notini, L., Mansfield, N. J., & Edwards, D. J. (2008). Variation between manufacturers' declared vibration emission values and those measured under simulated workplace conditions for a range of hand-held power tools typically found in the construction industry. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38(9), 661-675.
- Rohmert, W., Wos, H., Norlander, S., & Helbig, R. (1989). Effects of vibration on arm and shoulder muscles in three body postures. *European Journal of Applied Physiology*, 59(4), 243-248.

- Sebastião, B. A., Marziale, M. H., & Robazzi, M. L. (2007). Uma revisão sobre efeitos adversos ocasionados na saúde de trabalhadores expostos à vibração. *Revista Baiana de Saúde Pública*, 31(1), 178-186.
- Smutz, W., Dong, R., Han, B., Schopper, A., Welcome, D., & Kashon, M. L. (2002). A method for reducing adaptor misalignment when testing gloves using ISO 10819. *Oxford University Press*, 46(3), 309-315.
- Tominaga, Y. (2005). New Frequency Weighting of Hand-Arm Vibration. *Industrial Health*, 43(3), 509-515.
- Vergara, M., Sancho, J.-L., Rodríguez, P., & Pérez-González, A. (2008). Hand-transmitted vibration in power tools: Accomplishment of standards and users' perception. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38(9), 652-660.
- Welcome, D. E., Dong, R. G., Xu, X. S., Warren, C., & McDowell, T. W. (2012). An evaluation of the proposed revision of the anti-vibration glove test method defined in ISO 10819 (1996). *International Journal of Industrial Ergonomics*, 42(1), 143-155.
- Xu, X., Welcome, D., Warren, C., & Dong, R. (2009). An investigation on characteristics of the vibration transmitted to wrist and elbow in the operation of impact wrenches. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39(1), 174-184.

Apêndice A

Gráficos de a_{hv} em frequência

A.1 Comparação dos valores não ponderados de vibração total, em frequência, transmitidos ao punho dos operadores, para a tarefa com a ferramenta *Multicutter*, em cada um dos cinco ensaios (n=32 operadores)

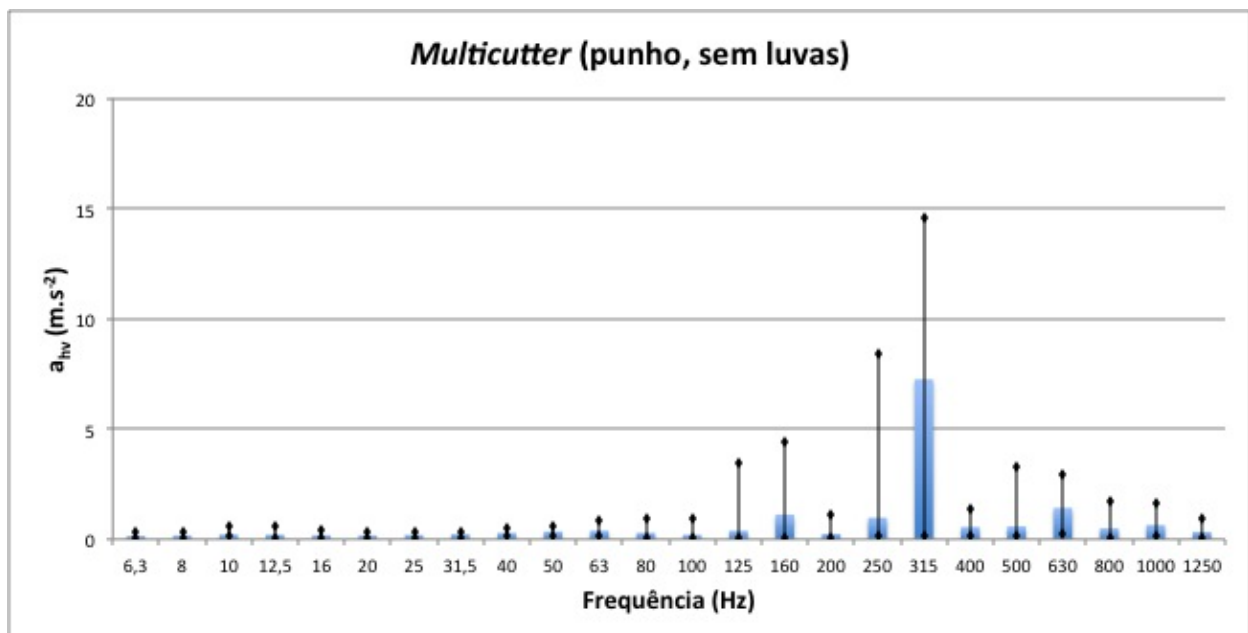


Figura A.1: Valores não ponderados de a_{hv} em frequência, medidos no punho dos operadores, sem luvas

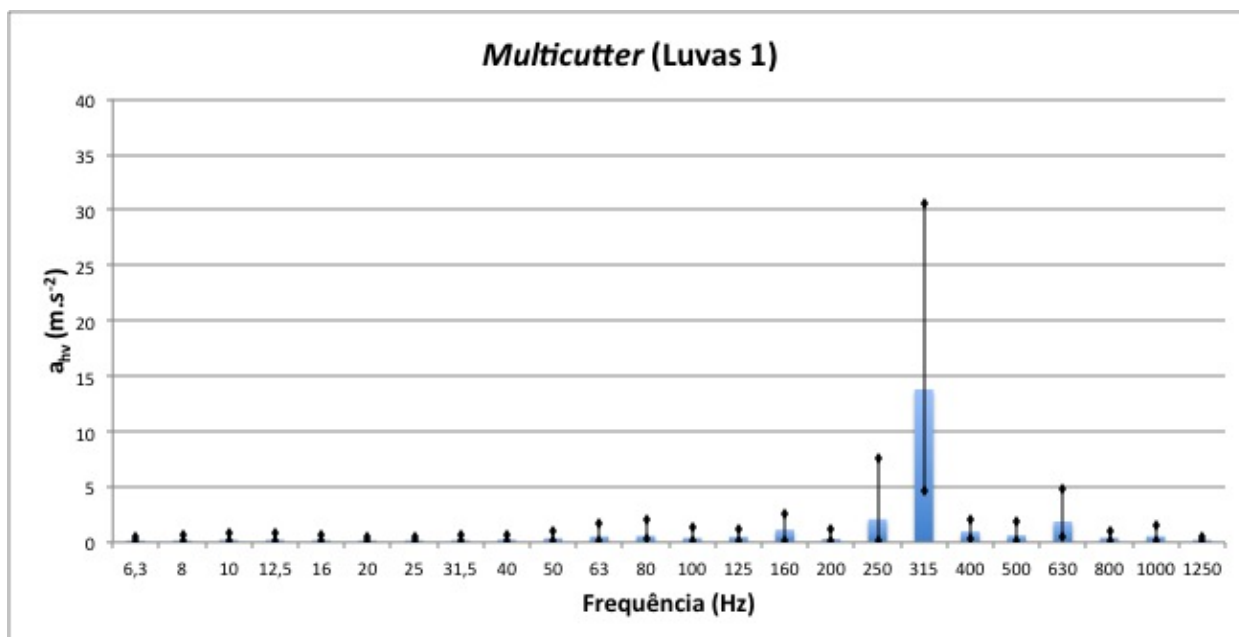


Figura A.2: Valores não ponderados de a_{HV} em frequência, medidos no punho dos operadores, com luvas tipo 1

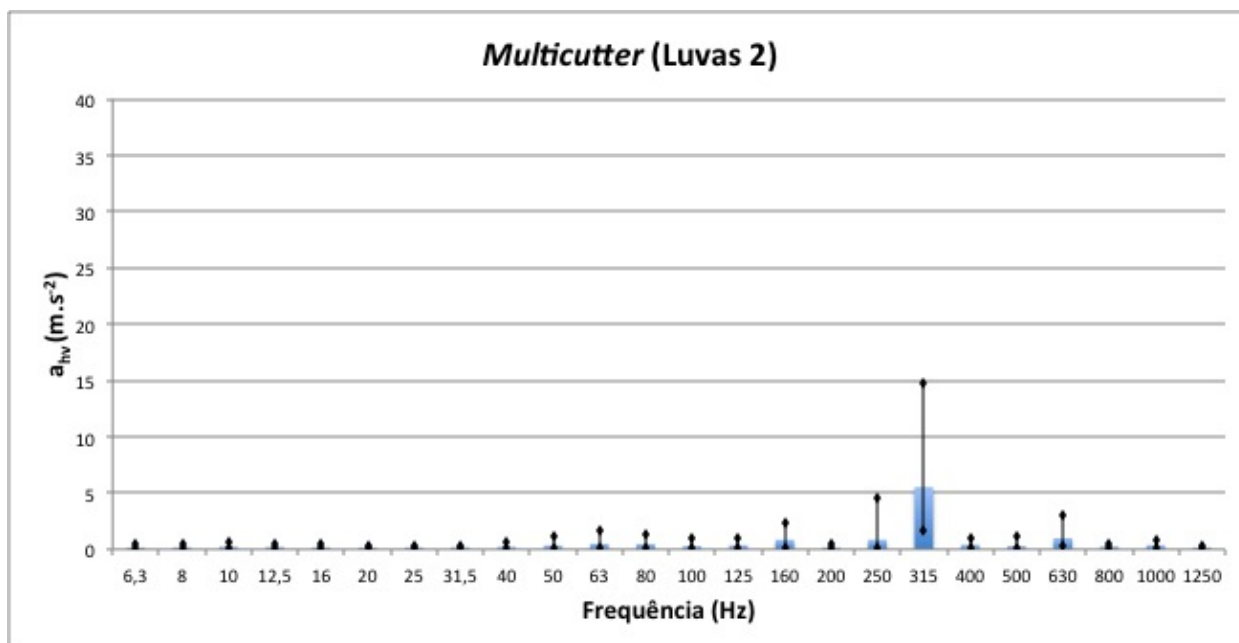


Figura A.3: Valores não ponderados de a_{HV} em frequência, medidos no punho dos operadores, com luvas tipo 2

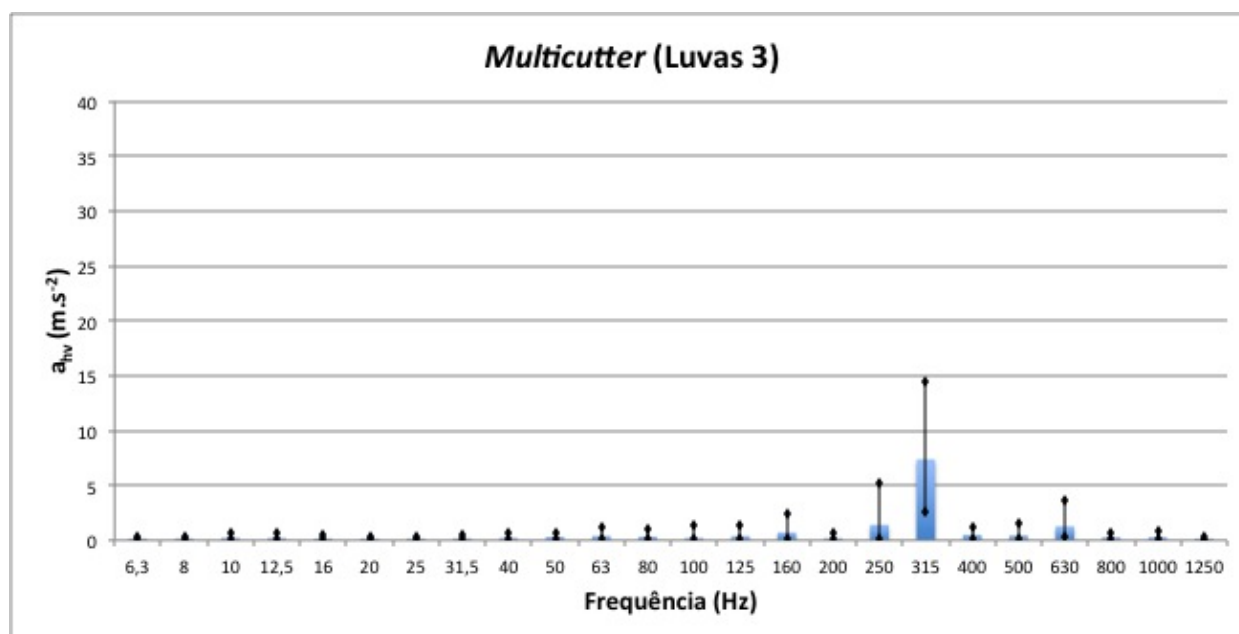


Figura A.4: Valores não ponderados de a_{hv} em frequência, medidos no punho dos operadores, com luvas tipo 3

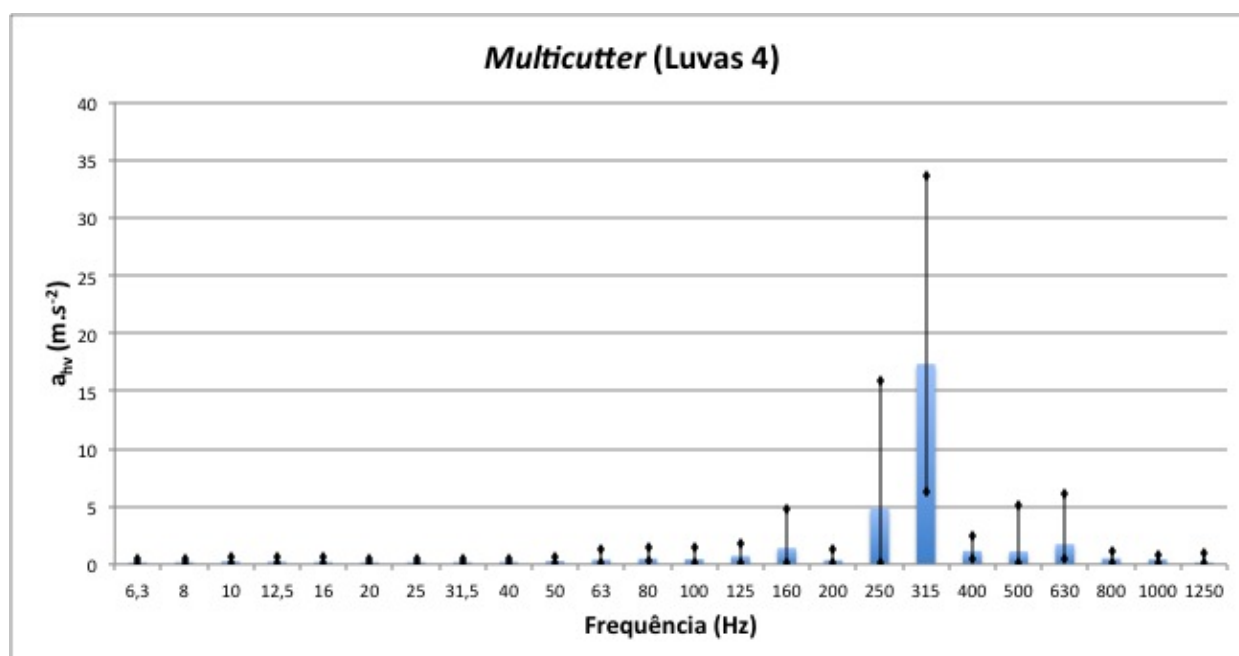


Figura A.5: Valores não ponderados de a_{hv} em frequência, medidos no punho dos operadores, com luvas tipo 4

A.2 Comparação dos valores não ponderados de vibração total, em frequência, transmitidos ao punho dos operadores, para a tarefa com a ferramenta *Sabre-Saw*, em cada um dos cinco ensaios (n=32 operadores)

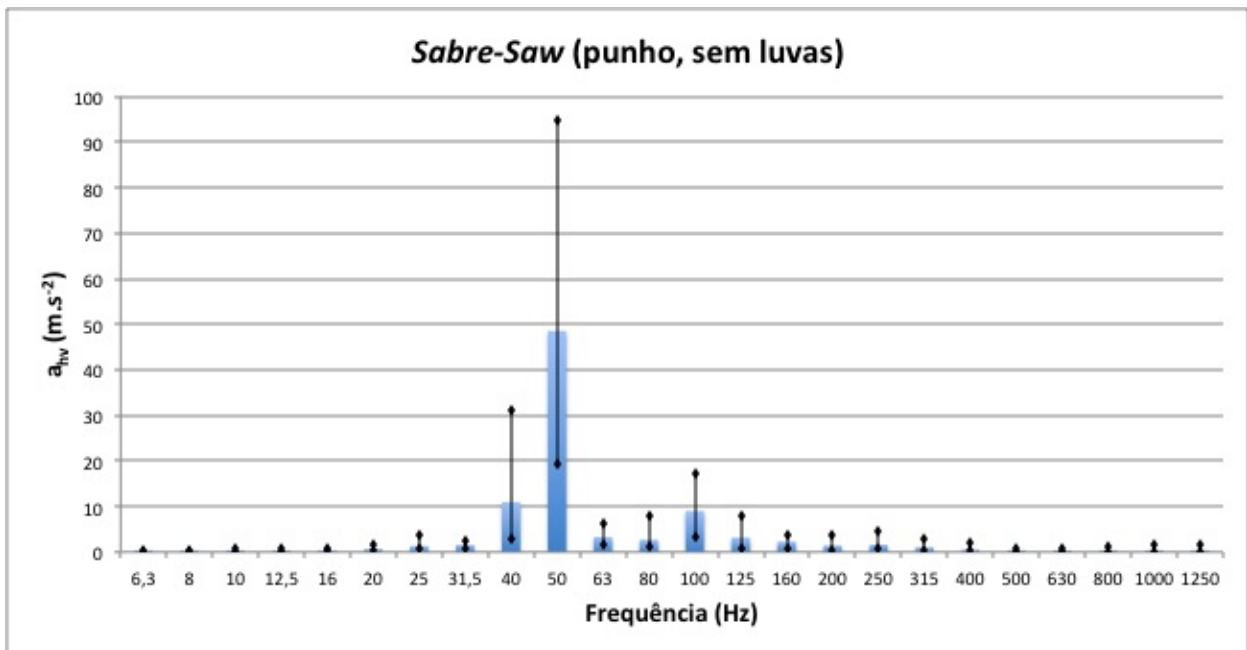


Figura A.6: Valores não ponderados de a_{hv} em frequência, medidos no punho dos operadores, sem luvas

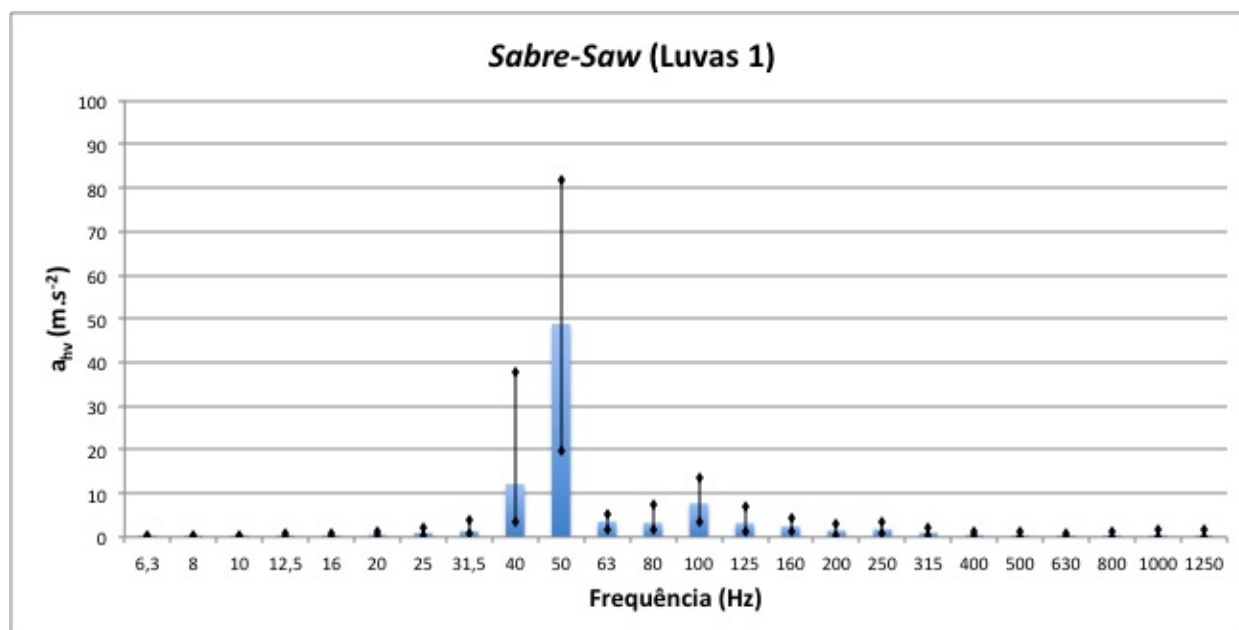


Figura A.7: Valores não ponderados de a_{hv} em frequência, medidos no punho dos operadores, com luvas tipo 1

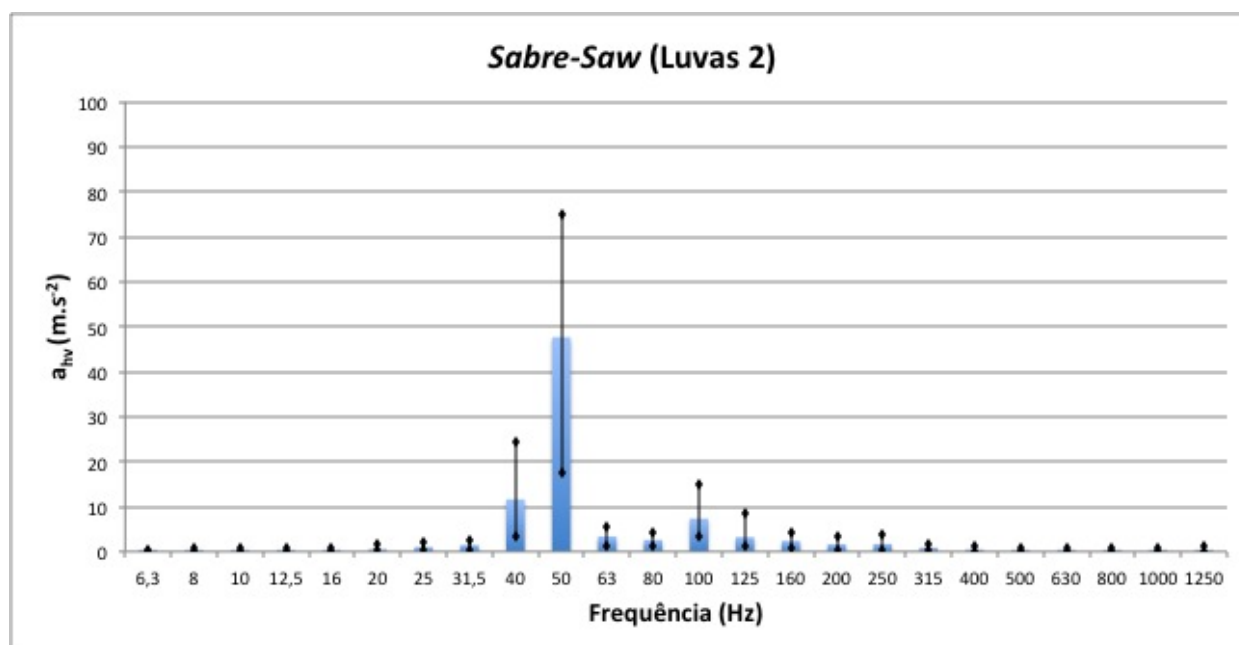


Figura A.8: Valores não ponderados de a_{hv} em frequência, medidos no punho dos operadores, com luvas tipo 2

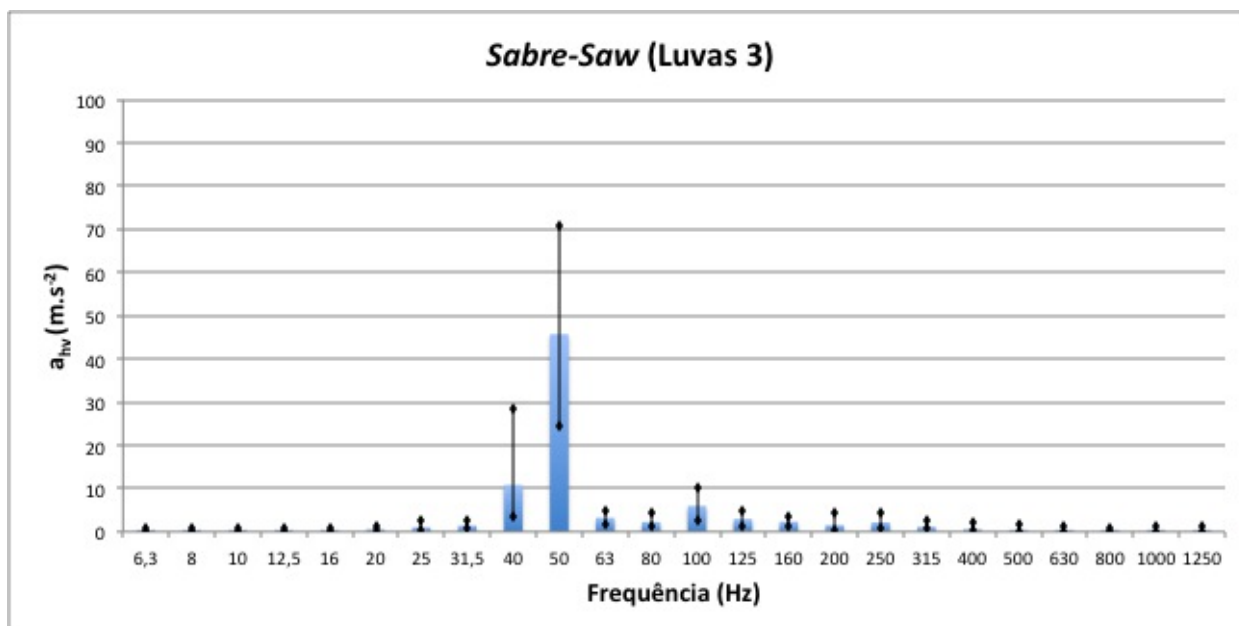


Figura A.9: Valores não ponderados de a_{hv} em frequência, medidos no punho dos operadores, com luvas tipo 3

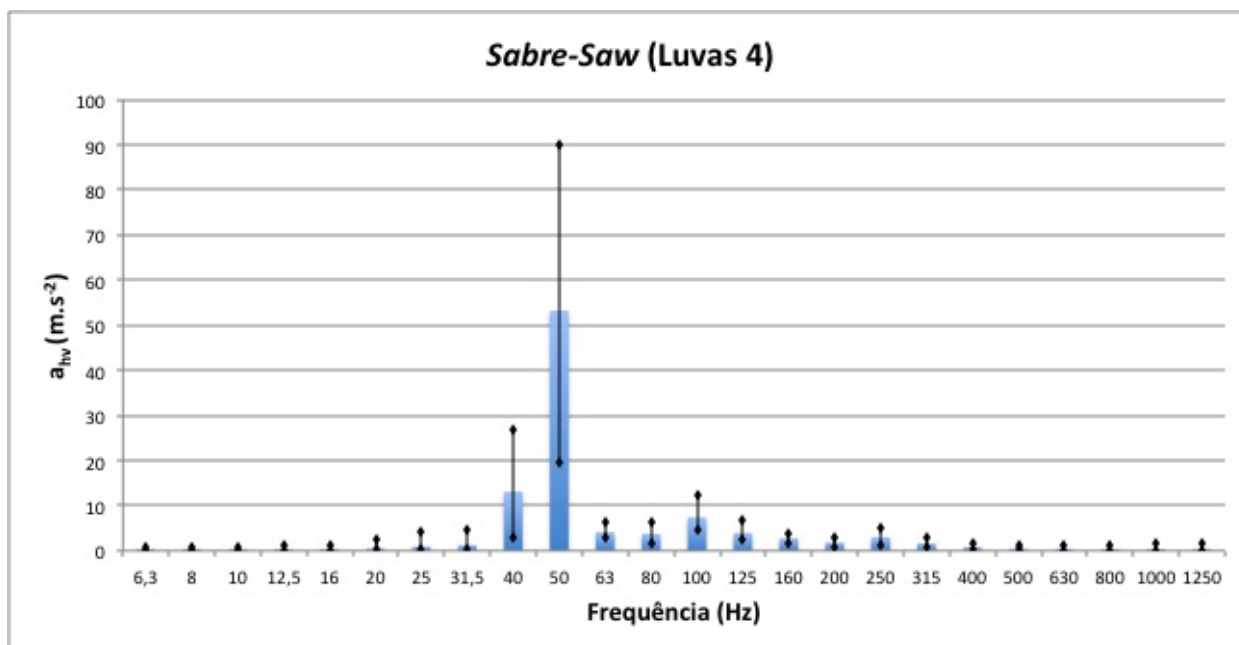


Figura A.10: Valores não ponderados de a_{hv} em frequência, medidos no punho dos operadores, com luvas tipo 4

Apêndice B

Artigos

- B.1 Artigo apresentado à revista *International Journal of Industrial Ergonomics*, Elsevier Editorial System (tm), a aguardar decisão de aceitação**

The EMG signal in the forearm when working with a reciprocating saw in gloved and ungloved simulated work task

Cabeças, J.M., Roque, B., Messias, R., Batista, S.

Authors:

José Miquel Cabeças, PhD Industrial Engineering (1)
Bernardo Simões Roque, BSc Industrial Engineering (1)
Rui Rossa Messias, BSc Industrial Engineering (1)
Susana Moreira Batista, MSc Sociology (2)

Institution

(1) Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial
(Mechanical and Industrial Engineering Department)
Faculdade de Ciências e Tecnologia
(Faculty of Science and Technology)
Universidade Nova de Lisboa
2829-516 Caparica, Portugal

(2) Cesnova – Centro de Estudos de Sociologia da Universidade Nova de Lisboa
(Cesnova - Center of Sociological Studies)
Faculdade de Ciências Sociais e Humanas
(Faculty of Social and Humanities Sciences)
Universidade Nova de Lisboa
Av. de Berna, 26 C
1069-061 Lisboa, Portugal

Keywords: anti-vibration gloves; electromyography; reciprocating saw; hand-arm vibration; forearm muscles

Highlights

- Non-significant differences in EMG signal with gloved or ungloved operations
- FDS was the muscle with the highest EMG signal (43% MVE)
- ECU was the second muscle with highest EMG signal (34% MVE)
- The %MVE with vibration load was 5.4 times higher than under static load
- An increase of 15.2%MVE was found in the four muscles due to the vibration load

Abstract

The objective of this article is to analyze the levels of forearm electromyographic (EMG) signal associated with the use of anti-vibration gloves, in which the EMG signal with four different gloves and without gloves are compared. A professional reciprocating saw (sabre saw) was used in a simulated work environment. A vertical cut was performed by each subject ($n=40$) over a period of up to 20 seconds continuously, in a 20 mm diameter mild steel round bar, without removing the tool from the bar. The ISO-weighted total root mean square (RMS) values of a_{hv} measured in the handle of the tool was in the range 15.20–26.20 $m.s^{-2}$. The dominant vibration frequencies were in the 250-315 Hz and in the 40-50 Hz range (one third octave band). The right (dominant) forearm surface EMG signal was measured in four different muscles: the flexor digitorum superficialis (FDS), flexor carpi radialis (FCR), extensor carpi ulnaris (ECU) and extensor digitorum (ED). The

vibration transmitted to the hand–arm system was measured with the accelerometer attached to the tool, using a triaxial accelerometer, and the signal recorded with an analyzer with real-time frequency analysis. No significant differences ($p > 0.05$) were found in the measured EMG signals in the bare hand, or with the four types of gloves, during dynamic work with the tool. However FDS and FCR revealed a tendency toward an increase in the percentage of maximum voluntary EMG signal (%MVE) (10% increase in both muscles) in gloved operations; ED revealed a tendency toward a decrease in gloved operations (11% decrease in %MVE). During gloved and ungloved operations, FDS was the muscle with the highest %MVE value (43%MVE), followed by ECU (34%MVE), ED (20%MVE) and FCR (17%MVE). FDS and ECU muscles must be selected in biomechanical assessment of forearm fatigue during similar operations with the sabre saw. The %MVE in the four muscles under vibration load (with the tool on, however with the blade held off the material) was 5.4 times higher (1.1–21.1 times higher) than that under the static load (with the tool off). A mean increase in % MVE values of 15.2%MVE (1.5-57.0 %MVE) was found in the four muscles due to the vibration load. A substantial increase in the EMG signal in the four muscles was observed due to the vibration load, and consequently a substantial risk increase may be expected to musculoskeletal disorders in the wrist and elbow of the operators.

Relevance to industry: Anti-vibration gloves have been applied in industry to reduce the vibration transmitted into the hand and arms through the palms and fingers. This study analyzed forearm EMG signal during simulated work tasks performed with a vibrating tool, operated with the bare hand and with four different gloves.

1. Introduction

A reciprocating saw (sabre saw) is a type of saw in which the cutting action is achieved through a push and pulls reciprocating motion of the blade. Considering professional electrical sabre saw tools, typical working values vary between ~9 to 12 Amp, ~1,000 to 1,300 watts, ~3.7 to 4.2 kg, vibration total values (a_h , triax vector sum) determined according to EN 60745 ~14.6 to 50.3 m.s^{-2} (mean value of 30.6 m.s^{-2} ; $n=23$ tools, right hand, according to C.D.C.).

During the use of the saw, in addition to the vibration exposure, workers may experience high arm and shoulder muscle loading, as a consequence of the force exerted to control the position and the reciprocating motion of the tool and the increased muscles activity that results from the vibration in its tendon.

In the present study, a reciprocating saw was operated in a simulated work task, with bare hand and four different anti-vibration gloves. Two main purposes of the study: (1) to analyze the intensity of forearm EMG signal associated with the use of anti-vibration gloves, in which the EMG signal with four different gloves and without gloves are compared; (2) to analyze the EMG signal increase in the forearm associated to the vibration load, relatively to the static load.

Muscle fatigue under vibration

The motor effects of vibration in humans were confirmed in 1965 by K.E. Hagbarth and G. Eklund. They observed that if a muscle was in initially moderately active, vibration its tendon caused a gradual increase in activity. The changes in active force induced were usually underestimated by the subjects (Eklund and Hagbarth, 1965). When vibration is applied to a muscle, the discharges of its motor units (MUs) become correlated with vibratory pulses. This effect has been extensively studied by single MU recording techniques by Lebedev (1992). Adamo (2002) concluded that hand vibration superimposed on sustained low grip force exertion exacerbates fatigue. Sensorimotor and biomechanical mechanisms are likely to contribute to an increase in muscle contractions and thus to the development of fatigue.

The tonic vibration reflex (TVR) is caused by vibratory activation of muscle spindles - muscle receptors sensitive to stretch. It is well known that vibration applied to a muscle or its tendon elicits

a tonic reflex contraction in that muscle or its antagonist. This tonic activity superimposed on ongoing voluntary contractions is partly responsible for an increase in force exertion, force variability, and tendon stress (Park, 1993). Muscle fatigue may result from the influence of vibration exposure as the motor response to the altered sensory messages includes increases in force exertion and/or co-contractions (Adamo et al., 2002). Vibration exposure reduces tactility which affects the force exerted to manipulate a given tool (Westling and Johansson, 1984).

Electromyographic (EMG) crosstalk at forearm muscles

SEMG crosstalk (common signal) between adjacent muscles produces interferences that bury the surface EMG of the target muscle and reduce selectivity. Some studies in kinesiology estimated the amount of crosstalk among forearm muscles.

Kong et al. (2010) studied static power grip tasks in a neutral posture at different exertion levels. The EMG signals were collected from forearm flexors. The fraction of crosstalk ranged from 32% to 50% in the wrist-dedicated flexors and from 11% to 25% in the digit-dedicated flexors. Mogk and Keir (2003) studied SEMG crosstalk to evaluate the magnitude of common signal present between electrode pairs around the forearm. As expected, common signal decreased as the distance between electrode pairs increased. Overall, the percentage of common signal ranged from about 33–41% between adjacent electrode pairs, 8–10% at 6 cm and 2–4% at 9 cm. However, 50% common signal was detected between adjacent electrode pairs placed over the extensor muscles, while over 60% was observed between flexor electrode sites. About 1–2% common signal was found for comparisons made between flexor and extensor electrode pairs. For a single EMG sensor of multipolar electrodes located on a single muscle, three primary physical methods have been applied by Kong et al. (2010) for crosstalk reduction: small electrodes, short interelectrode distances, and double differential electrodes. Long distances between EMG sensors and double differential electrodes have been recommended to reduce crosstalk. The blind signal separation (BSS) method to remove crosstalk and in hand and forearm muscles during grip task has been applied for authors like Kilner et al. (2002), Farina et al. (2004) and Kong et al. (2010).

The forearm EMG measurements during static gloved and ungloved grip forces

Electromyography has been widely used to measure hand forces in manual tasks and on workers using power hand tools (Dong, 2005). Larivière et al. (2004) studied the biomechanical effect of gloves on forearm muscles during handgrip efforts, with electrodes placed on the flexor digitorum superficialis (FDS), flexor carpi radialis (FCR), extensor carpi radialis longus (ECR), and extensor digitorum (ED). The authors found that the wrist extensor muscles (ECR and ECR&ED pair) were more sensitive than the flexors to the glove conditions and that the extensor muscles should therefore be the target muscle group in that type of a biomechanical assessment. In a different study (Larivière et al., 2010) the same muscles were selected to test the construct validity of two mechanical tests of glove stiffness using a SEMG methodology.

Wells et al. (2010) performed a study to document the effort required to use gloves of different sizes and thicknesses. The EMG signal of seven forearm muscles was measured whilst performing a set of standardized tasks.

The purpose of a study by Greig and Wells (2008) was to explore the response of selected hand and forearm muscles during a wide range of static force and moment exertions. SEMG from eight sites of the hand and forearm and grip force were monitored. In general, ECU showed the highest activation of all muscles over a very wide range of tasks followed by ED and ECR. These findings support the notion that the extensors are heavily loaded during manual tasks. This strongly suggests that the forearm extensors and particularly ECU must be included when collecting EMG of the forearm to estimate demand in the distal upper limb. The three extensors monitored and the FDS site showed the highest relative activity.

Wimer et al. (2010) concluded that during maximum static gripping trials, the arm flexor and extensor muscle EMG activities were not significantly different among bare-hand and gloved-hand MVC trials (glove use was unlikely to cause any large change in the activity levels of the major

muscles in the arms during MVC gripping actions). Larivière et al. (2010) during 5-s isometric grip contractions at 35% MVC with bare hand and different gloves stiffness concluded that subjects were required to produce greater muscular efforts when wearing gloves to achieve the same grip strengths that they delivered during bare-handed trials (16–21% increase in the %MVE, depending on the muscle).

The forearm EMG measurements during dynamic (vibration) gloved and ungloved grip forces

Armstrong et al. (2002) used EMG to assess muscle activity as workers performed their jobs, in the vicinity of FDS and ECR muscles, while operating hand vibrating tools (a_{hv} values between 3.3–11.8 $m.s^{-2}$). In addition to the vibration exposure, workers at the foundry experienced high peak muscle loading.

Chang et al. (1999) evaluated the effects of wearing a glove and wrist support on hand-arm response while operating an in-line pneumatic screwdriver. Hand arm response was investigated in terms of triggering finger force, FDS EMG signal and hand-transmitted vibration with four glove levels (a_{hv} values between ~5–7 $m.s^{-2}$). Wearing the cotton glove required significantly greater FDS exertion (6.8%) than wearing the nylon one.

The EMG of finger flexor muscles was acquired by Gurram et al. (1995) under different static and dynamic loads, for various levels of grip forces and magnitudes of vibration frequencies in the 20–1000 Hz range. FDS EMG signal increased considerably with the grip force under static as well as dynamic loads. EMG under dynamic loads was observed to be 1.5–6.0 times higher than that under the static loads.

Radwin et al. (1987) studied grip force exerted at a simulated hand tool vibrating at 9.8 $m.s^{-2}$ and 49 $m.s^{-2}$, at 40 Hz and 160 Hz frequencies, with different load weights. Average grip force increased 27% from without vibration to vibration at 40 Hz, and increased 7% to vibration at 160 Hz. Average grip force also increased 16% when the acceleration increased from 9.8 $m.s^{-2}$ to 49 $m.s^{-2}$. A second experiment studied hand muscles responses using EMG for subjects holding a handle vibrating at 8 $m.s^{-2}$ (ISO weighted) at different frequencies and grip forces. Muscle responses were greatest at frequencies where grip force was affected, indicating that the tonic vibration reflex was the likely cause of increased grip exertions.

Cabeças and Milho (2011) analyzed by SEMG the levels of forearm muscular activation associated with the use of anti-vibration gloves, during the use of two different vibrating tools, in four different muscles: FDS, FCU, ECRL and ECU. ECU was the muscle with the highest measured %MVE for all the operators and all the tools. No significant differences were found in the EMG signal during gloved or ungloved operations.

The elbow flexor and extensor muscles EMG measurements during dynamic (vibration)

Mischi and Cardinale (2009) evaluated the activation and coactivation of biceps and triceps muscles during isometric exercise performed with and without superimposing a vibration stimulation of 28 Hz. A significant EMG_{RMS} increase was observed when vibration was applied. An increase of 26.1% and 18.2% in the biceps and triceps during elbow flexion and an increase of 77.2% and 45.2% respectively during elbow extension.

Jones and Hunter (1985) during briefly maintained, submaximal contractions, subjects were required to estimate the perceived magnitude of isometric forces exerted by the elbow flexor muscles under normal conditions and during vibration of the right biceps tendon. There was a significant overestimation of the forces exerted by the vibrated biceps muscle, associated with an increase in the EMG of the biceps and triceps muscles of the reference arm.

2. Materials and methods

2.1 The equipment

The hand tools used in the research was a Bosch reciprocating saw GSA 1200 E professional sabre

saw 220V, equipped with metal saw blade S1122BF (225 mm/ 9"), with a no-load stroke rate between 0 – 2,800 spm, 3.7 kg weight without cable, vibration total values (triax vector sum) determined according to EN 60745: $a_{th}=19 \text{ m.s}^{-2}$, uncertainty $K=5.5 \text{ m.s}^{-2}$ (cutting wood values). The tool was operated at maximum rate during the operations (2,800 spm) (Figure 1.).



Figure 1. A Reciprocating Saw Bosch GSA 1200 E Professional used in the research

The sabre saw performed transversal cuts at a 20 mm diameter Mild Steel Round Bars. Four types of anti-vibration gloves (meets ISO 10819: 1996) were used by the subjects in the research (Figure 2): Type 1 glove, molded Gfom padding on the palm, fingers and thumb, 100% grain cowhide leather, sewn with Kevlar; Type 2 glove, anti-vibration Air Glove, full finger all leather style, utilizing patented Air technology in the palm, fingers and thumb, driver style cuff; Type 3 glove, with polymer in the palm, the palm and palm-side fingers made of abrasion-resistant material, the backs of the fingers and thumb made of breathable stretch spandex, the back of the glove covered by a tough, micro-injected dorsal shell, a woven elastic cuff features a rugged; Type 4 glove, neoprene/leather/elastic cuff, incorporates patented polymer, pigskin leather palm and fingers, neoprene knuckle pad, closure with woven elastic cuff (Figure 2.).

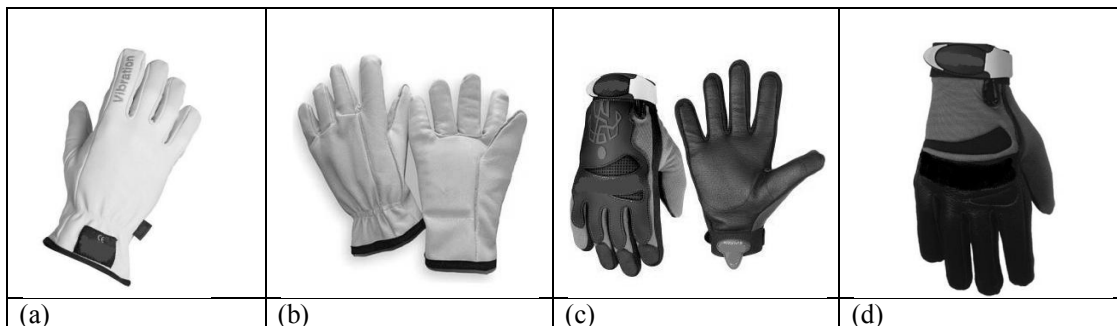


Figure 2. The anti-vibration gloves used in the research: (a) Type 1 glove; (b) Type 2 glove; (c) Type 3 glove and (d) Type 4 glove

2.2 The subjects

Forty volunteer adult subjects participated in the study (Table 1). The maximum handgrip strength tests were performed with the participants seated, the forearm supported on a table with a 90° flexed elbow, exerting a power grip in a Hand Dynamometer (Lafayette Hand Dynamometer, model 78010, Lafayette Instrument Company, USA). The grasping distance was previously adjusted to the participants' handgrip. Each participant was encouraged to exert a maximum hand grip over a period of up to five seconds, with a rest period of up to a minute between tests. Three readings were taken for each measurement.

Table 1
Mean (SD) and range of age, anthropometrics and muscular strength for the subjects (n=40)

Demographic data	Mean (SD)	Range
Male subjects (n)	40	-----
Age (years)	24.6 (2.5)	19-33
Height (cm)	176.5 (5.4)	160-186
Weight (kg)	73.0 (7.4)	58-88
Handgrip strength – Right hand (kg)	41.7 (8.9)	21.3-66.7

2.3 Electromyography

Surface EMG was recorded using small disposable bipolar rectangular electrodes, highly conductive wet gel, skin contact size 30x20 mm, with a wire sensor area of 28 mm² and a gel area (measuring area) of 95 mm², placed with a 20 mm center-to-center distance (Ag/AgCl sensor, Ambu Blue Sensor N-00-S, Ambu A/S, Ballerup, Denmark).

Data was measured in the right forearm, in the M. flexor digitorum superficialis (FDS flexes the middle phalanges of medial four digits; acting more strongly, it also flexes the proximal phalanges and hand), M. extensor carpi ulnaris (ECU extends and adducts/cubical deviation of the hand at the wrist joint), M. flexor carpi radialis (FCR flexes and helps to abduct the hand at the wrist joint), M. extensor digitorum (ED Extends medial four digits at metacarpophalangeal joints; extends hand at wrist joint). These muscles were chosen as being representative for hand grip demand.

The skin over the muscles was carefully prepared. The location of the electrode pair in the FDS muscle was according to Perotto (2005) and Kong (2010); the recommendations of Delsys (n.a.) regarding the position of the FDS in order to avoid overlying the FCR and other muscles were taken into consideration. In the ECU and ED muscles, the location of the electrode pair was according to Zipp (1982) and in the FCR according to Perotto (2005).

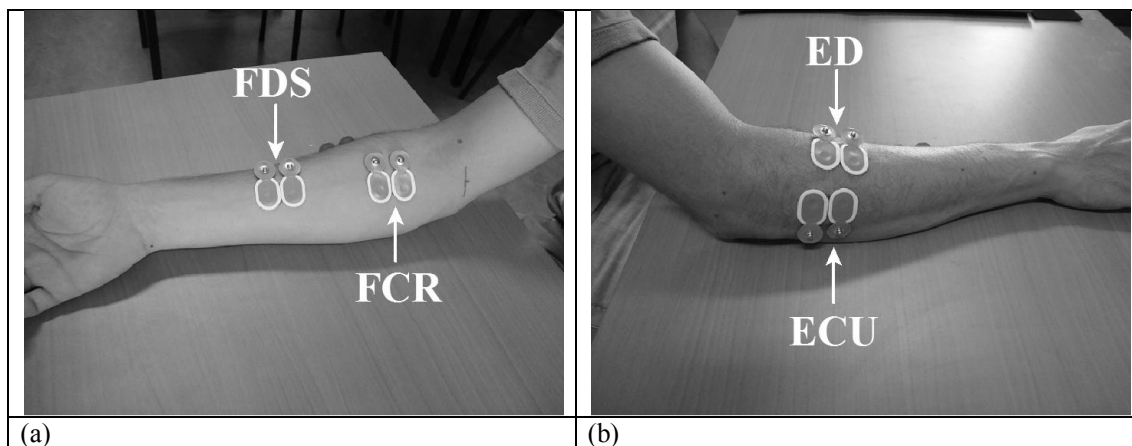


Figure 3. The location of EMG electrodes in: (a) the ventral forearm (FDS and FCR muscles); (b) the dorsal forearm (ED and ECU muscles)

The EMG cables were secured for tool operations with Surgifix tubular elastic net bandage to prevent the cables from swinging and causing movement artifacts. The EMG electrodes were carefully taped to the skin.

Data was recorded by a four-channel Muscle Tester ME6000 (MEGA Electronics Ltd, Kuopio,

Finland) with a sampling frequency of 1,000 Hz, and the root-mean-square (RMS) was calculated with a frame width of 100 ms. Data was transferred and stored in a microcomputer with MegaWin v.2.3 software.

EMG measurements were performed in the dominant arm of the operator, the one operating the trigger of the tools.

The following EMG terminology was used in this paper: Maximum voluntary contraction (MVC) is the subject's greatest exertion against a specific load; sub-maximum voluntary contraction (RVC) is a sub-maximum exertion against a specific load; MVE and RVE are the EMG measurement during MVC and RVC exertions, respectively; %MVE and %RVE are the EMG measurement during the tool operations relative to the MVE and RVE measurements, respectively.

EMG data was normalized using a maximum isometric contraction (MVE test) and also by using a sub-maximum isometric contraction (RVE test). Both normalization procedures were performed in each muscle in order to compare the consistency of the results and to control any eventual bias that may occur in the maximum voluntary contraction protocols. Normalization was performed to the bare hand in order to reduce the variations among different subjects.

Maximum isometric tests

The maximum isometric tests were performed in the right arm (the dominant one), with the same muscle action, and joint angle as the task EMG, with the participants seated in a chair with adjustable height, the forearm resting at the olecranon level in a soft expanded polystyrene (EPS) plate supported on a table, with the elbow flexed 90° and the hand with the palm face down, extended according to the direction of the forearm (isometric – spec_{MVC} as referred to by Burden (2010)). The subjects were instructed to maintain, during the tests, the hand in the horizontal orientation, palm side down, extended and aligned with the direction of the forearm.

Four test protocols were executed: in P1, each participant was encouraged to exert a maximum palmar wrist flexion against a Lafayette Manual Muscle Tester, model 01163 (MMT), pressing in the metacarpophalangeal joints; in P2 each participant was then encouraged to exert a maximum fingers extension against the MMT, pressing the proximal interphalangeal joints; in P3 each participant was encouraged to exert a maximum dorsal wrist extension simultaneously with a maximum ulnar wrist deviation against the MMT, pressing in the dorsal metacarpophalangeal joints; and finally, in P4 each participant was encouraged to exert a maximum hand grip exertion against a Hand Dynamometer (the grasping distance was previously adjusted to the participants' handgrip).

Wimer et al. (2009) argue that grip strength measured with Jamar handle may not be reliably applicable to the design and risk assessment of some tools with cylindrical handles. In this research the Jamar grip force was used to normalize M. flexor digitorum superficialis EMG data relative to a maximum isometric muscular contraction. The authors suggested that similar amounts of muscle activities during the MVC grip actions may be obtained regardless of handle type.

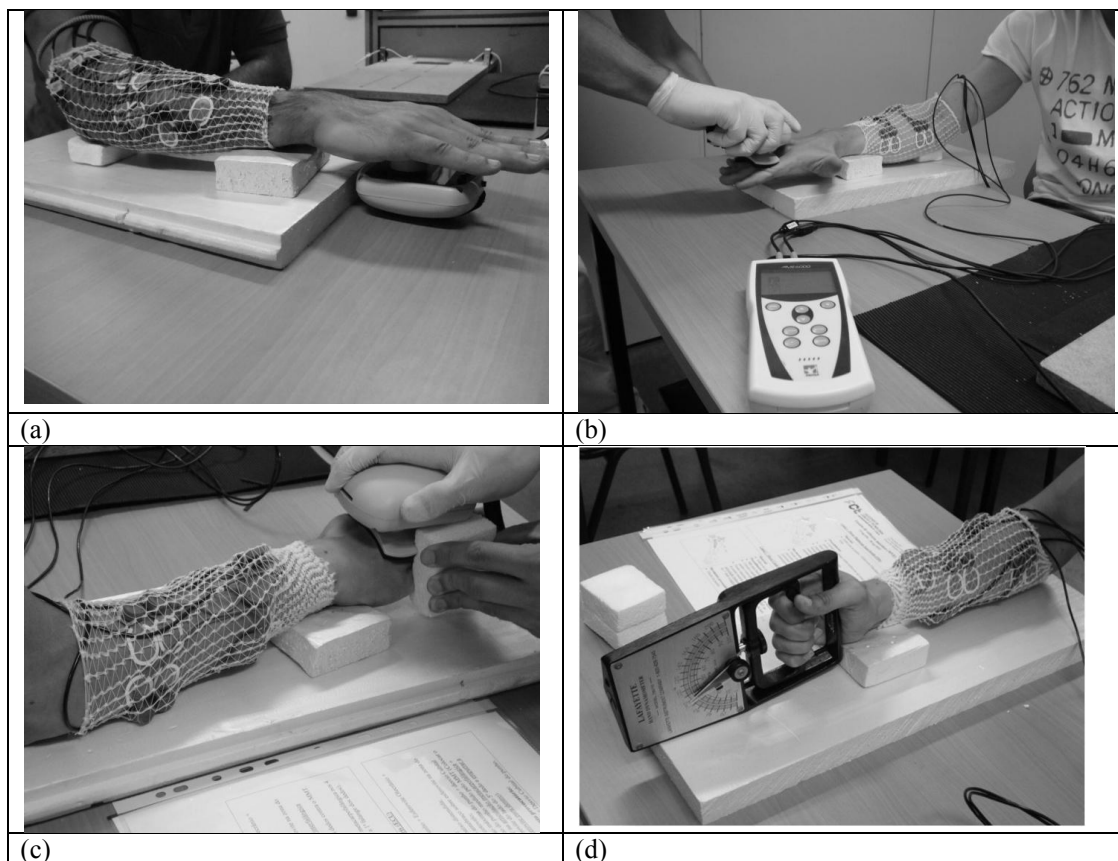


Figure 4. The MVE protocols: (a) P1 (maximum palmar wrist flexion against the MMT); (b) P2 (maximum fingers extension against the MMT); (c) P3 (maximum dorsal wrist extension simultaneously with maximum ulnar wrist deviation against the MMT); (d) P4 (maximum hand grip exertion against a Hand Dynamometer)

For each effort protocol, three trials of isometric contractions tests were obtained over a period of up to five seconds, with a rest period of up to two minutes between trials. The EMG data was recorded in the four muscles during each protocol. The highest value among the three trials was chosen as the MVE normalization reference.

To normalize the EMG data relative to a maximum isometric muscular contraction, the following protocols were selected in order to determine the maximum voluntary EMG signal ($MVE_{RMS,\mu V}$) in each muscle: M. flexor digitorum superficialis: protocol P4; M. flexor carpi radialis: protocol P1; M. extensor digitorum: protocol P2; and M. extensor carpi ulnaris: protocol P3.

Sub-maximum isometric tests

Sub-maximal isometric contraction tests (RVE) were performed in order to evaluate EMG signal in the different muscles (isometric – sub_{MVC} as referred to by Burden (2010)), with the same muscle action, and joint angle as the task EMG.

A simple mechanism allows the application of a constant force in different directions at the right hand (the dominant one). The sub-maximum isometric tests were performed with the participants seated in a chair with adjustable height, the forearm resting at the level of the wrist and olecranon in two soft expanded polystyrene (EPS) plates supported on a table, with a 90° flexed elbow and the hand with the palm surface down, extended according in the direction of the forearm. The subjects

were instructed to maintain the hand in the horizontal orientation with the palm surface down, extended and aligned with the direction of the forearm. Four test protocols were executed: (a) in P5, two different forces were simultaneously applied at the metacarpophalangeal joints: a force of 2.5 kg in the vertical direction (to provoke a wrist flexion effort) and a force of 2.5kg in the horizontal-right direction (to provoke a wrist radial deviation effort); (b) in P6, two different forces were simultaneously applied at the metacarpophalangeal joints: a constant force of 2.5 kg in the vertical direction (to provoke a wrist extension effort) and a force of 2.5 kg in the horizontal-left direction (to provoke a wrist ulnar deviation effort); (c) in P7, a force of 2.5 kg was applied at the proximal interphalangeal joints, in the vertical direction (to provoke a wrist extension); (d) and in P8 with a half-arm pronation (ulnar face down) a constant grip force of 10 kg was applied in the Hand Dynamometer.

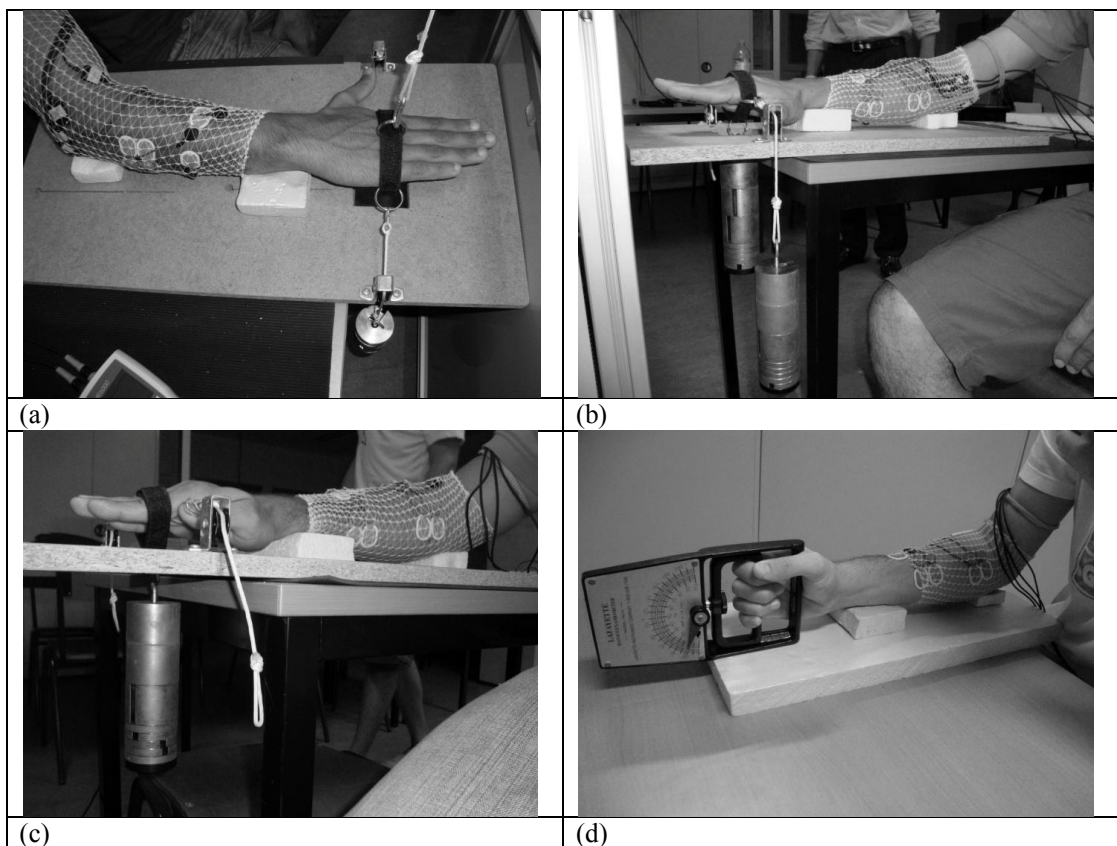


Figure 5. The RVE protocols: (a) P5 (a constant force of 2.5 kg was applied in the vertical up direction simultaneously with a constant force of 2.5 kg in the horizontal-right direction); (b) P6 (a constant force of 2.5 kg was applied in the vertical down direction simultaneously with a constant force of 2.5 kg in the horizontal-left direction); (c) P7 (a constant force of 2.5 kg was applied at the proximal interphalangeal joints, in the vertical direction); (d) P8 (with a half-arm pronation a constant force of 10 kg was applied in the hand dynamometer).

The EMG data for the four muscles was recorded during each protocol. For each protocol, three trials of isometric contraction tests were obtained over a period of up to 15 seconds, with a rest period of up to two minutes between trials. The average amplitude was calculated for the middle 10-second period of each trial (Mathiassen et al., 1995). The average value among the three trials was chosen as the RVE normalization reference.

To normalize the EMG data relative to sub-maximum isometric muscular contractions, the following protocols were selected for the purpose of determining the relative voluntary EMG signal ($RVE_{RMS,\mu V}$) in each muscle: M. flexor Digitorum superficialis: protocol P8; M. flexor carpi radialis: protocol P5; M. extensor digitorum: protocol P7; M. extensor carpi ulnaris: protocol P6.

2.4 The vibrations measurement

The vibration transmitted to the hand–arm system was measured using a triaxial accelerometer (Model 3023A2, 10mV/g, 4 grams, Dytran Instruments, Inc.) and the signal recorded with a VI-410 PRO vibration analyzer, real-time frequency analysis (Quest Technologies), which complies with the specifications of the standards ISO 8041:2005, ISO 5349-1,2:2001, ISO 2631-1,2:2003, ISO 10816 and IEC 61672-1. Measurements were performed with the vibration meter with the accelerometer attached to the tools according to recommendations of ISO 5349-2:2001. Measurements were also performed with the accelerometer attached to the wrist of the subject's dominant arm by means of a special device fixed to the wrist. In this paper only the values referred to tool handle measurements will be presented.



Figure 6. The location of the triaxial accelerometer in the handle of the reciprocal saw

The acceleration frequency-weighted RMS values of a_{hwx} , a_{hwy} , $a_{h wz}$ and a_{hv} ($m.s^{-2}$) were recorded in the vibration meter during operations time. The log rate time was set to 1 s in order to analyze the variability of the results. Full octave band (1/1) frequency vibration spectrum (non-weighted) was recorded. The vibrations were measured in the dominant arm of the operator, the one operating the trigger of the tools. During operations time, the progress of the acceleration frequency-weighted RMS values of a_{hwx} , a_{hwy} and $a_{h wz}$ ($m.s^{-2}$) were carefully observed in the vibration meter. Stable values of RMS acceleration were observed in the end of each measurement time.

2.5. The hand-tools operations protocol and EMG/Vibrations measurements

The hand-tool operations were performed during simulated work tasks. The subjects were instructed to make a vertical cut with the sabre saw over a period of up to 20 seconds continuously, in a 20 mm diameter mild steel round bar, without removing the tool from the bar, (see Figure 5). The operations were repeated by each subject with bare hand, and with the four types of anti-vibration gloves. The operators were instructed to perform the operations continuously, with a uniform forward speed and forward force applied in the blades, without removing the tool from the material, with the hand operating at the elbow level, gripping the tools as lightly as possible. Reference EMG

measurements were performed with the tool power off and EMG and vibration measurements were performed with the tool power on, however without cutting the materials (blades held off the materials). Prior to data collection, the subjects received training in handling the sabre saw. Two groups of EMG and vibration measurements were performed: (1) measures with the accelerometer located in the tools handle according to recommendations of ISO 5349-2:2001 ($n=8$ operators) and (2) measures with the accelerometer located in the wrist ($n=32$ operators).

The following protocol was executed by each subject in each group of measurements: (1) maximum isometric test (EMG recording); (2) EMG preliminary reference measurement (3 readings of 10 s) with the operator supporting the tool with bare hand and the power off; (3) Simultaneous EMG and vibration reference measurements with bare hand and the power on, however, there was no contact between the blade and the material (blades held off the materials); (4) Simultaneous EMG and vibration measurements (3 readings of 20 s) with the tool cutting the material, with bare hand, and with the four types of anti-vibration gloves.

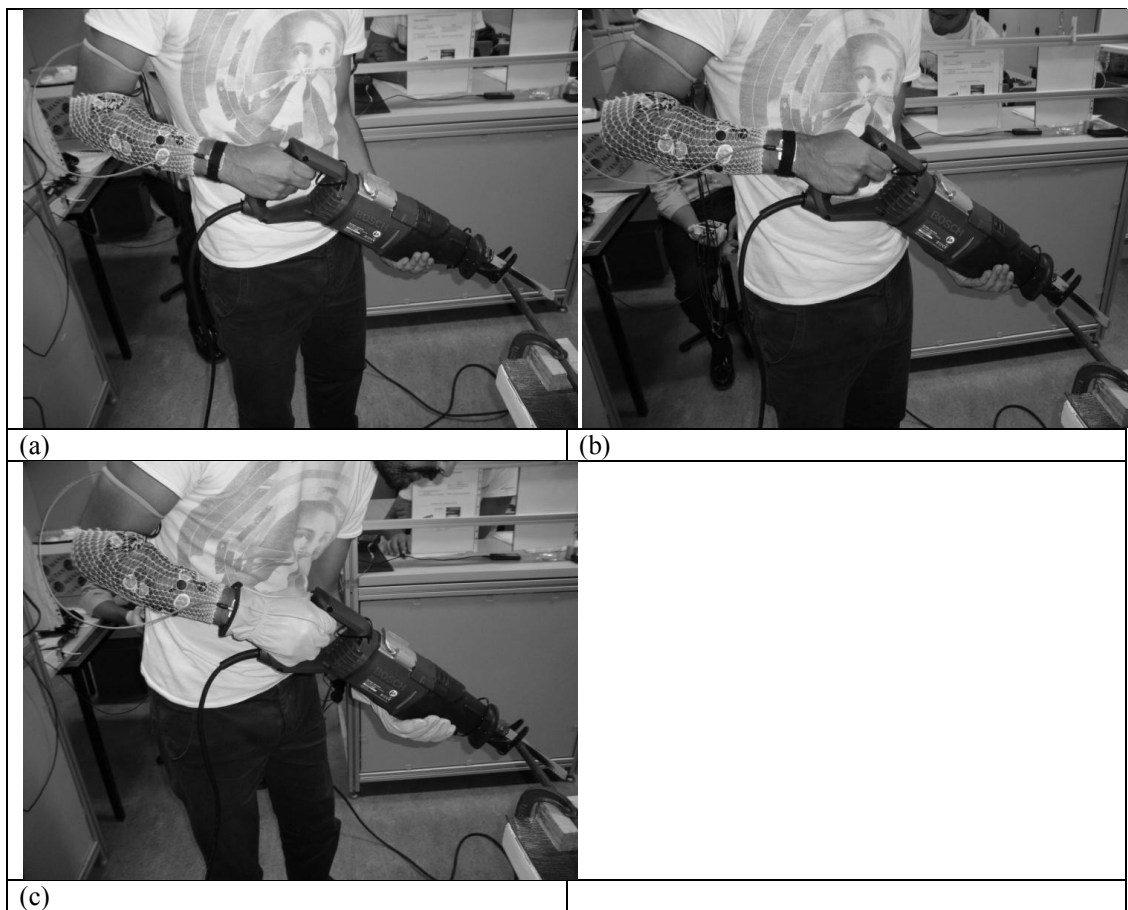


Figure 7. (a) EMG preliminary reference measurement with the operator supporting the sabre saw with bare hand and the power off; (b) Simultaneous EMG and vibration reference measurements with bare hand and the power on, however, there was no contact between the blade and the material (blade held off the material); (c) Simultaneous EMG and vibration measurements with the blade cutting the material, with bare hand, and with the four types of anti-vibration gloves

2.6 Statistical analysis

The research design included the same subjects operating with the reciprocating sabre-saw in different conditions (bare hand and the four types of gloves). In order to compare the variability of a_{hv} measured in the handle of the hand tools or in the wrist of the operators, repeated measures ANOVA - which uses an F statistic to determine significance - were conducted. In addition to the usual assumptions of these analysis (independence of observations and normality), repeated measures ANOVA implies sphericity. If this assumption was not met by Mauchly test, Greenhouse-Geisser (if $\epsilon < 0.75$) or Huynh-Feldt (> 0.75) correction were considered to determine a more accurate p-value. Whenever significant differences were found, we used post-hoc comparisons using the Bonferri correction to compare different pairs of variables. All tests were conducted in SPSS – version 18.0 for Windows.

3. Results

Different groups of results were found in this research.

3.1 The variability of vibration total value of frequency-weighted RMS acceleration

Forty operators performed operations with the sabre saw in simulated work tasks over a period of 20 s. The log rate time of the vibrations measurements was set to 1 s in order to analyze the variability of ISO-weighted total RMS a_{hv} values ($CV (\%) = SD/a_{hv} \times 100$) in the handle of the tool during the operations (Table 2).

Table 2

The variability of ISO-weighted total RMS acceleration values measured in the handle of the sabre saw (n=8 subjects) during simulated operations (log rate time= 1 s; 20 readings per subject)

	Handle measurement CV (%) Mean (Range)
Blade held off the material	
Bare hand, tool on	2.4 (0.7-4.6)
Blade cutting the material	
Bare hand	5.2 (1.2-10.8)
Type 1 glove	2.4 (1.2-4.6)
Type 2 glove	2.5 (0.7-6.0)
Type 3 glove	1.9 (0.8-3.2)
Type 4 glove	2.2 (0.8-5.2)

No significant differences between the six variables ($p > 0.05$)

A repeated measures ANOVA was conducted to test if the six variables had the same mean. The test corrected with Greenhouse-Geisser delivered no significant difference between the six variables in the handle measurement ($F(1.478; 10.348) = 4.123, p = 0.057$).

The CV of the ISO-weighted total value RMS acceleration measured in the handle of the tool, with the blade cutting the material were not significantly different from the values with the blade held off the materials, which means that individual cutting operations didn't introduce a significant variability in the total value of frequency-weighted RMS acceleration (the operators were instructed to perform the operations continuously, with a uniform forward speed and forward force applied in the saw blades, gripping the tools as lightly as possible).

3.2 The vibration measured in the handle of the hand tool

Measures in the tool handle (Table 3.) were taken with a log rate of 1 s, during operations time of 20 s. Mean and range values were calculated based on 20 readings per operation.

Table 3

The ISO-weighted total RMS values of a_{hv} measured in the handle of the tool during simulated operations with the sabre saw (n=8 subjects; 20 s operation time)

	Handle measurement a_{hv} (m.s ⁻²) Mean (range)
Blade held off the material	
² Bare hand, tool on	17.94 (16.00-20.90)
Blade cutting the material	
³ Bare hand	19.91 (16.80-26.20)
⁴ Type 1 glove	18.29 (15.60-20.80)
⁵ Type 2 glove	17.05 (15.20-19.10)
⁶ Type 3 glove	18.06 (15.20-20.60)
⁷ Type 4 glove	17.78 (15.40-20.90)

Significant difference between the variables (⁴) and (⁵) (p<0.05); significant difference between the variables (⁵) and (⁶) (p<0.05)

A repeated measures ANOVA was conducted to test if the six variables had the same mean. The test corrected with Greenhouse-Geisser delivered a significant difference between the variables $F(1.761; 12.330)=4.074$, $p=0.033$. Post hoc tests using the Bonferroni correction revealed a significant difference between a_{hv} variables measured in the handle of the tool when using Type 1 and Type 2 gloves ($p=0.024$) and when using Type 2 and Type 3 gloves ($p=0.033$) and non-significant differences between blade held off the material values and blade cutting the material values. This finding reveals that the main source of vibration in these operations was the sabre saw mechanism; the impact of the cutting operations in the vibration transmitted to the handle of the tool was not significant.

For the sabre saw and for the type of operation performed in this research, the dominant vibration frequencies were in the 250-315 Hz and in the 40-50 Hz range (one third octave band). Most of the vibration energy of the tool is at this frequency range (Table 7).

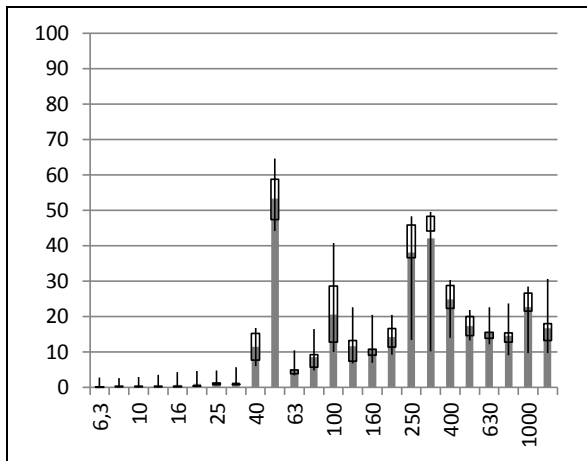


Figure 8. The vibration total value of frequency un-weighted RMS accelerations (m.s^{-2}) in the sabre saw, measured in the handle ($n=8$ subjects) with bare hand (mean, maximum, minimum, P25 and P75 values)

3.3 The variability of EMG signal (μV) in the forearm of the operators

Forty operators performed operations with the sabre saw in a simulated work task over a period of 20 s. The EMG frame width measurement was set to 0.1 s. The variability of EMG signal was calculated to each measurement ($\text{CV} (\%) = \text{S.D.}_{\text{EMG } \mu\text{V}} / \text{Average EMG } \mu\text{V} \times 100$), and averaged to the sample of 40 operators (Table 4).

Table 4

The variability (CV) of EMG signal (μV) measured in the forearm of the operators ($n=40$ subjects) during simulated operations with the sabre saw (frame width = 0.1 s)

	FDS CV (%) Mean (range)	FCR CV (%) Mean (range)	ED CV (%) Mean (range)	ECU CV (%) Mean (range)
Blade held off the material				
¹ Bare hand, tool off	19.0 (5.1-62.5)	19.7 (8.7-50.0)	19.7 (5.0-78.6)	18.1 (4.0-47.6)
² Bare hand, tool on	22.5 (13.6-54.8)	24.9 (10.5-64.9)	25.3 (14.1-60.3)	26.6 (10.6-65.0)
Blade cutting the material				
³ Bare hand	21.7 (15.3-31.6)	22.7 (14.4-40.4)	22.0 (6.4-41.7)	19.9 (13.5-38.0)
⁴ Type 1 glove	24.3 (16.5-36.4)	24.0 (14.5-60.6)	24.1 (11.7-46.6)	22.1 (12.7-46.3)
⁵ Type 2 glove	22.7 (10.2-37.1)	24.5 (15.6-57.3)	26.4 (12.0-49.7)	22.4 (13.6-48.1)
⁶ Type 3 glove	23.1 (15.0-31.1)	22.7 (13.5-32.9)	25.3 (11.8-44.4)	22.1 (13.2-42.0)
⁷ Type 4 glove	24.0 (15.3-33.5)	22.9 (13.9-39.6)	28.4 (10.6-59.1)	25.1 (13.4-51.4)

Significant differences between the grouping variable (¹) and the grouping variables (²), (⁴), (⁵), (⁶), (⁷) ($p < 0.05$); non-significant differences between the grouping variable (²) and the grouping variables (⁴), (⁵), (⁶), (⁷) ($p > 0.05$)

A repeated measures ANOVA with a Greenhouse-Geisser correction was conducted to test if the variables (grouping the data related to the four muscles in the same variable) had the same mean. Comparing the seven variables, the tests determined that mean CV value in the EMG signal (μV) differed statistically significantly between the variables: $F(3.749; 577.282) = 14.026$, $p = 0.000$. Post

hoc tests using the Bonferroni correction revealed a significant difference in CV values between bare hand with tool off and the remaining six variables (except bare hand with the blade cutting the material).

Comparing the six variables associated to tool on (with the blade cutting and with the blade held off the material), the tests determined that mean CV value in the EMG signal (μV) differed statistically significantly between the variables: $F(2.824; 437.653) = 6.645$, $p=0.000$. Post hoc tests using the Bonferroni correction revealed non-significant difference in CV values between tool on operations with blade held off the material (bare hand), and the remaining five variables (except blade cutting the material operations with bare hand). The mean CV value of EMG signal (μV) for the four muscles, with the blade cutting the material, was 23.5%. This value is not significantly different from the values with the blade held off the materials with tool on (mean value of 24.9%) (exception to blade cutting the material operations with bare hand), which means that the cutting method didn't introduce a significant variability in the EMG signal (μV).

3.4 The intensity of EMG signal in the forearm of the operators

To each operator, EMG data was normalized to a maximum isometric muscular contraction in each muscle ($\%MVE = EMG_{RMS,\mu V} / MVE_{RMS,\mu V} \times 100$) (Table 5).

Table 5

Mean (range) of measured EMG signals (%MVE) in the different muscles, during operations with the sabre saw (n=40 subjects).

	FDS %MVE Mean (range)	FCR %MVE Mean (range)	ED %MVE Mean (range)	ECU %MVE Mean (range)
Blade held off the material				
¹ Bare hand, tool off	6.4 (1.3-17.6)	4.3 (1.3-10.7)	3.1 (1.1-7.8)	4.1 (1.3-13.5)
² Bare hand, tool on	29.4 (7.7-62.7)	12.2 (1.9-22.8)	16.6 (4.0-40.3)	21.9 (5.5-70.5)
Blade cutting the material				
³ Bare hand	37.3 (9.7-88.3)	15.9 (4.8-38.6)	21.5 (4.3-88.9)	33.8 (12.4-72.4)
⁴ Type 1 glove	43.2 (13.0-83.9)	18.8 (4.6-44.8)	19.6 (4.9-57.1)	35.6 (18.0-57.5)
⁵ Type 2 glove	37.9 (10.2-84.3)	16.4 (5.1-33.8)	19.6 (4.0-79.1)	33.4 (12.8-61.5)
⁶ Type 3 glove	41.4 (12.2-93.1)	16.1 (5.1-30.9)	17.2 (1.6-60.3)	36.1 (15.5-98.2)
⁷ Type 4 glove	41.9 (12.0-90.3)	18.8 (4.5-43.5)	19.6 (4.0-62.3)	31.2 (16.5-55.0)

Significant difference between the variables (¹) and (²) in FDS, FCR, ED and ECU muscles ($p=0.000$); FDS: significant differences between the variables (⁴) and (⁵) ($p=0.006$); FCR: significant differences between the variables (⁴) and (⁵) ($p=0.014$) and between the variables (⁶) and (⁷) ($p=0.006$); ED and ECU: non-significant differences between gloved or ungloved blade cutting operations ($p>0.05$)

According to paired t-test (and according to two sample independent t-test when the variables were not correlated), a significant difference was found in each muscle between tool off and tool on operations with the blade held off the material ($p=0.000$).

Comparing the %MVE values to each muscle and to each operation during gloved and ungloved blade cutting operations, the following conclusions were found (repeated-measures ANOVA with a Greenhouse-Geisser correction): (1) mean %MVE differed statistically significantly between the variables in FDS muscle: $F(2.491; 94.657) = 3.496$, $p=0.025$; post hoc tests using the Bonferroni correction revealed a significant difference between %MVE values when using Type 1 and Type 2

gloves ($p=0.006$); (2) mean %MVE differed statistically significantly between the variables in FCR muscle: $F(2.716; 103.203)=4.803$, $p=0.005$; post hoc tests using the Bonferroni correction revealed a significant difference between %MVE values when using Type 1 and Type 2 gloves ($p=0.014$) and when using Type 3 and Type 4 gloves ($p=0.006$); (3) no significant difference was found between the variables in ED muscle: $(F(2.311; 90.147)= 1.156$, $p=0.324)$; (4) no significant difference was found between the variables in ECU muscle: $(F(2.654; 103.513)= 2.462$, $p=0.074)$.

Comparing the %MVE values to each muscle during gloved and ungloved blade cutting operations, a repeated-measures ANOVA with a Huynh-Feldt correction determined that mean %MVE differed statistically significantly between the muscles: $F(2.499; 474.721)=153.202$, $p=0.000$. Post hoc tests using the Bonferroni correction revealed a significant difference between %MVE values when measured: FDS and all the other muscles; ECU and FCR ($p=0.000$); ECU and ED ($p=0.000$).

To analyze the coherence of results regarding normalization procedures, the measured EMG signals are also expressed in the different muscles as %RVE (mean, range) during tool operations (Table 6). The EMG signal was normalized to the sub-maximum contraction level in each muscle (RVE) according to the following equation: $\%RVE = EMG_{RMS,\mu V} / RVE_{RMS,\mu V} \times 100$ (Table 6).

Table 6

Mean (range) of measured EMG signal (%RVE) in the different muscles, during operations with the sabre saw ($n= 40$ subjects).

	FDS %RVE Mean (range)	FCR %RVE Mean (range)	ED %RVE Mean (range)	ECU %RVE Mean (range)
Blade held off the material				
¹ Bare hand, tool off	29.9 (3.0-86.7)	24.1 (4.5-94.0)	8.9 (3.5-30.5)	112.2 (1.8-41.1)
² Bare hand, tool on	138.7 (26.0-384.4)	68.5 (19.1-203.4)	46.3 (12.2-146.6)	60.6 (13.9-219.3)
Blade cutting the material				
³ Bare hand	184.9 (40.1-664.4)	93.4 (16.3-359.5)	60.5 (14.4-178.6)	93.9 (21.4-225.0)
⁴ Type 1 glove	212.3 (36.7-578.4)	111.0 (21.2-416.7)	56.8 (16.2-160.6)	99.3 (23.2-207.5)
⁵ Type 2 glove	179.3 (37.6-487.1)	98.1 (13.3-314.3)	56.5 (13.0-222.2)	93.4 (22.3-191.9)
⁶ Type 3 glove	201.2 (32.5-689.2)	95.6 (13.3-269.0)	51.3 (3.9-185.0)	100.4 (23.2-257.0)
⁷ Type 4 glove	205.0 (32.3-532.4)	108.6 (11.8-316.0)	55.6 (13.2-142.1)	87.6 (24.1-223.0)

Significant difference between the variables (¹) and (²) in each muscle ($p=0.000$); FDS: significant differences between the variables (⁴) and (⁵) ($p=0.006$); FCR: significant differences between the variables (³) and (⁴) ($p=0.003$); ED and ECU: non-significant differences between blade cutting operations ($p>0.05$)

The analysis of EMG data normalized to sub-maximum isometric muscular contraction revealed similar conclusions to EMG data normalized to maximum isometric muscular contraction, emphasizing the coherence of EMG data.

According to paired t-test (and according to two sample independent t-test when the variables were not correlated), a significant difference was found in each muscle between tool off and tool on operations with the blade held off the material ($p=0.000$).

Comparing the %RVE values to each muscle and to each operation during gloved and ungloved blade cutting operations, the following conclusions were found (repeated-measures ANOVA with a Greenhouse-Geisser correction): (1) mean %RVE differed statistically significantly between the variables in FDS muscle: $F(2.569; 97.633)=3.251$, $p=0.031$; post hoc tests using the Bonferroni correction revealed a significant difference between %RVE values when using Type 1 and Type 2 gloves ($p=0.003$); (2) mean %RVE differed statistically significantly between the variables in FCR

muscle: $F(2.560; 97.286)=4.122$, $p=0.012$; post hoc tests using the Bonferroni correction revealed a significant difference between %RVE values with bare hand and Type 1 glove ($p=0.025$); (3) no significant difference was found between the variables in ED muscle: $F(2.764; 107.814)=0.943$, $p=0.417$; (4) no significant difference was found between the variables in ECU muscle: $F(2.522; 98.376)=2.039$, $p=0.124$.

As referred to by Park (1993), the vibration applied to a muscle or its tendon elicits a tonic reflex contraction in that muscle or its antagonist, depending upon the experimental context; this tonic activity superimposed on ongoing voluntary contractions is partly responsible for an increase in force exertion, force variability, and tendon stress. To evaluate the %MVE increase due to muscles exposure to vibrations, the following values were compared to each operator and to each muscle: (1) %MVE with the blade held off the material and the tool off (isometric static load in the muscles, see figure 5(a)) and (2) %MVE with the blade held off the material and the tool on (isometric vibration load in the muscles, see figure 5(b)) (Table 7.).

Table 7

The ratio and the difference between mean %MVE measured with the tool on (isometric vibration load) and with the tool off (isometric static load) to the different operators ($n=40$) and to the different muscles, with the blade held off the material

	FDS	FCR	ED	ECU
	Mean (range)	Mean (range)	Mean (range)	Mean (range)
%MVE _{tool on} / %MVE _{tool off}	5.2 (1.8-16.5)	3.5 (1.1-10.7)	6.1 (2.2-15.9)	6.8 (1.7-21.1)
%MVE _{tool on} - %MVE _{tool off}	22.3 (3.5-57.0)%	8.2 (1.5-19.0)%	13.9 (2.2-36.3)%	16.6 (2.9-48.7)%

4. Discussion

The operators were instructed to perform the operations continuously, with a uniform forward speed and forward force applied in the saw blades, gripping the tools as lightly as possible. Individual cutting operations didn't introduce a significant variability in the total value of frequency-weighted RMS acceleration and in the value of EMG signal (μV) for the four muscles. The CV of the ISO-weighted total value RMS acceleration measured in the handle of the tool, with the blade cutting the material (mean value of 2.9%) were not significantly different from the values with the blade held off the material (mean value of 2.4%); the CV of EMG signal (μV) for the four muscles, with the blade cutting the material (mean value of 23.5%) were not significantly different from the values with the blade held off the materials with the tool on (mean value of 24.9%) (exception to blade cutting the material operations with bare hand).

Considering EMG values in the four muscles, during gloved and ungloved cutting operations, the following conclusions may be drawn: FDS was the muscle with the highest %MVE value in 25 subjects (mean value of 43%MVE, significant difference from all the other muscles, $p<0.05$), followed by ECU in 12 subjects (mean value of 34%MVE, significant difference from ED and FCR, $p=0.000$), ED (20%MVE) and FCR (17%MVE).

Different authors concluded that, when performing static hand grip tests, the extensor muscles should be the target muscle group in that type of a biomechanical assessment (Larivière et al. 2004; Loscher and Gallasch, 1993; Hagg and Milerad, 1997). Cabeças and Milho (2011), performing dynamic tests with vibration tools (a multi-cutter and a rotary hammer) concluded that ECU should be selected as a target muscle for the biomechanical assessment of forearm fatigue during operations with the referred tools. In fact, ECU serves to stabilize the wrist in neutral position

during tool use (De Serres and Milner, 1991).

In this research FDS was the muscle with the highest %MVE value in 25 subjects and must be the target muscle, as well as ECU, in biomechanical assessment of forearm fatigue during operations with the sabre saw. The weight of the tool, the location of the mass center, the type of forces exerted to position and move the tool (torque/rotary or reciprocating tool) and the frequency vibration characteristics may be some of the factors that determine an increase in EMG signal in the vicinity of the FDS muscle.

Analyzing EMG values in the vicinity of FDS, FCR, ED and ECU muscles to the different operations, non-significant differences were found in %MVE values during gloved and ungloved operations (this conclusion is consistent regarding %MVE and %RVE values). However, the following observations can be referred to: (1) gloved operations increased %MVE and %RVE in FDS muscle respectively in 54% and in 56% of the operators ($n=40$); globally, a 10% increase was observed in %MVE values (8% increase in %RVE values) in gloved operations relatively to ungloved operations ($p>0.05$); (2) gloved operations increased %MVE and %RVE in FCR muscle respectively in 50% and 42% of the operators; globally, a 10% increase was observed in %MVE values (11% increase in %RVE values) in gloved operations relatively to ungloved operations ($p>0.05$); (3) globally, a 11% decrease was found in %MVE in ED muscle during gloved operations relatively to bare hand operations (a 9% decrease in %RVE values); the use of anti-vibration gloves decreased %MVE and %RVE values in 25-28% of the operators; (4) globally, a 1% increase was observed in %MVE and %RVE values in ECU muscle in gloved operations relatively to ungloved operations ($p>0.05$).

Wimer et al. (2010) concluded that during maximum static gripping trials, the arm flexor and extensor muscle EMG activities were not significantly different among bare-hand and gloved-hand MVC trials. Larivière et al. (2010) during 5-s isometric grip contractions at 35% MVC with bare hand and different gloves stiffness concluded that subjects were required to produce greater muscular efforts when wearing gloves to achieve the same grip strengths that they delivered during bare-handed trials (16–21% increase in the %MVE, depending on the muscle).

In this research, the forearm efforts were sub-maximal and not constant among the different subjects and trials. An EMG signal increase (10% increase in %MVE) was observed in FDS and FCR muscles during gloved operations ($p>0.05$).

The %MVE under vibration load (with the tool on however with the blade held off the material) was 1.1–21.1 times higher than that under the static load (with the tool off). A mean value of 5.4 was found to the different muscles. The difference in the %MVE was 1.5-57.0%MVE higher with vibration load. A mean value of 15.2%MVE was found to the different muscles. FDS and ECU were the muscles with the higher increase in %MVE due to vibration load.

These results are more severe than the results from Gurram et al. (1995): the electrical activity under dynamic loads was 1.5–6.0 times higher than that under the static loads and difference between the electrical activity under dynamic and static loads was 4-20%MVC. These findings are also higher than the findings from Radwin et al. (1987) who concluded that averaged EMG RMS increased 12% in the flexor muscle and 32% in the extensor muscle with vibration compared without vibration. Differences in the results may be due to different test conditions, particularly in the characteristics of the tools used.

5. Conclusion

Individual cutting operations in the simulated work task didn't introduce a significant variability in the total value of frequency-weighted RMS acceleration and in the value of EMG signal (μV) for the four muscles.

Regarding FDS, FCR, ED and ECU muscles, no significant differences ($p > 0.05$) were found in the measured EMG signals in the bare hand, or with the four types of gloves, during dynamic work with the tool. However FDS and FCR revealed a tendency toward an increase in the %MVE in gloved operations (10% increase in both muscles); ED revealed a tendency toward a decrease in gloved operations (11% decrease in %MVE); any trend was observed in the ECU muscle.

During gloved and ungloved cutting operations, FDS was the muscle with the highest mean %MVE value (43%MVE), followed by ECU (34%MVE), ED (20%MVE) and FCR (17%MVE). FDS and ECU muscles must be selected in biomechanical assessment of forearm fatigue during similar operations with the sabre saw. Different authors concluded that, when performing static and dynamic hand grip efforts, the extensor muscles should be the target group in fatigue biomechanical assessment. The conclusion of this research emphasizes that FDS may be more relevant than ECU muscle, in terms of EMG signal intensity, depending on the static and dynamic characteristics of the tool and on the type of activity performed with the tool.

The %MVE in the four muscles under vibration load (with the tool on however with the blade held off the material) was 1.1–21.1 times higher (mean value of 5.4 times higher) than that under the static load (with the tool off). An increase in %MVE values between 1.5–57.0 %MVE (mean value of 15.2%MVE) was found in the four muscles due to the vibration load. FDS and ECU were the muscles with the higher increase in %MVE due to vibration load.

The tonic vibration reflex caused an involuntary increase in contraction of the muscles exposed to vibration and tactility may also be affected by vibration exposure. A substantial increase in the EMG signal in the four muscles was observed due to the vibration load, and consequently a substantial risk increase may be expected to musculoskeletal disorders in the wrist and elbow of the operators.

Acknowledgments

The New University of Lisbon (Universidade Nova de Lisboa) provided financial support for this study and the Mechanical Technology Laboratory, created the conditions to perform the tests with the sabre saw. The authors thank Cesnova (Faculdade de Ciências Sociais e Humanas from the New University of Lisbon) for their assistance in statistical analysis, as well as the volunteers who participated in the tests.

Bibliography

Adamo, D.E., Martin, B.J., Johnson, P.W., 2002. Vibration-induced muscle fatigue, a possible contribution to musculoskeletal injury. *Eur J Appl Physiol*, 88, 134-140.

Armstrong, T.J., Marshall, M.M., Martin, B.J., Foulke, J.A., Grieshaber, D.C., Malone, G., 2002. Exposure to forceful exertions and vibration in a foundry. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 30(3), 163-179.

Burden, A., 2010. How should we normalize electromyograms obtained from healthy participants? What we have learned from over 25 years of research. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 20, 1023–1035.

Cabeças, J.M., Milho, R., 2011. The efforts in the forearm during the use of anti-vibration gloves in simulated work tasks. *International Journal of Industrial Ergonomics* 41(3), 289–297.

C.D.C. - Centers for Disease Control and Prevention. PowerTools Database: Reciprocating Saw. Available on <http://wwwn.cdc.gov/niosh-sound-vibration/> (April 4, 2012).

- Chang, C.H., Wang, M.J.J., Lin, S.C., 1999. Evaluating the Effects of Wearing Gloves and Wrist Support on Hand-Arm Response While Operating an In-Line Pneumatic Screwdriver. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 24(5), 473-481.
- De Serres, S.J., Milner, T.E., 1991. Wrist muscle activation patterns and stiffness associated with stable and unstable mechanical loads. *Experimental Brain Research* 86, 451-458.
- Delsys. Technical Note 101: EMG Sensor Placement. Available at <http://www.delsys.com/> (April 4, 2012).
- Dong, R.G., Wu, J.Z., Welcome, D.E., 2005. Recent advances in biodynamics of human hand-arm system. *Ind Health*, 43(3), 449-71.
- Eklund, G., Hagbarth, K.E., 1965. Motor effects of vibratory muscle stimuli in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 19, 619.
- Farina, D., Fevotte, C., Doncarli, C., Merletti, R., 2004. Blind separation of linear instantaneous mixtures of nonstationary surface myoelectric signals. *IEEE Trans Biomed Eng.* 51, 1555-1567.
- Greig, M., Wells, R., 2008. A systematic exploration of distal arm muscle activity and perceived exertion while applying external forces and moments. *Ergonomics*, 51, 1238-1257.
- Gurram, R., Rakheja, S., Gouw, G.J., 1995. A study of hand grip pressure distribution and EMG of finger flexor muscles under dynamic loads. *Ergonomics*, 38(4), 684-699.
- Hagg, G.M., Milerad, E., 1997. Forearm extensor and flexor muscle exertion during simulated gripping work - an electromyographic study. *Clinical Biomechanics* 12, 39-43.
- Wells, R., Hunt, S., Hurley, K., Rosati, P., 2010. Laboratory assessment of the effect of heavy rubber glove thickness and sizing on effort, performance and comfort. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 40, 386-391.
- Jones, L.A., Hunter, I.W., 1985. Effect of muscle tendon vibration on the perception of force. *Experimental Neurology*, 87(1), 35-45.
- Kilner, J.M., Baker, S.N., Lemon, R.N., 2002. A novel algorithm to remove electrical cross-talk between surface EMG recordings and its application to the measurement of short-term synchronization in humans. *J Physiol.* 538, 919-930.
- Kong, Y.-K., Hallbeck, S.M., Jung, M.-C., 2010. Crosstalk effect on surface electromyogram of the forearm flexors during a static grip task. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 20, 1223-1229.
- Larivière, C., Plamondon, A., Lara, J., Tellier, C., Boutin, J., Dagenais, A., 2004. Biomechanical assessment of gloves. A study of the sensitivity and reliability of electromyographic parameters used to measure the activation and fatigue of different forearm muscles. *International Journal of Industrial Ergonomics* 34, 101-116.
- Larivière, C., Tremblay, G., Nadeau, S., Harrabi, L., Dolez, P., Vu-Khanh, T., Lara, J., 2010. Do mechanical tests of glove stiffness provide relevant information relative to their effects on the musculoskeletal system? A comparison with surface electromyography and psychophysical

methods. *Applied Ergonomics* 41, 326-334.

Lebedev, M.A., Polyakov, A.V., 1992. Analysis of surface EMG of human soleus muscle subjected to vibration. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 2(1), 26-35.

Loscher, W.N., Gallasch, E., 1993. Myo-electric signals from two extrinsic hand muscles and force tremor during isometric handgrip. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 67, 99-105.

Mathiassen, S.E., Winkel, J., Hägg, G.M., 1995. Normalization of surface EMG amplitude from the upper trapezius muscle in ergonomic studies – a review. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, (5), 197-226.

Mischi, M., Cardinale, M., 2009. The Effects of a 28-Hz Vibration on Arm Muscle Activity during Isometric Exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 41(3), 645-653.

Mogk, J.P., Keir, P.J., 2003. Crosstalk in surface electromyography of the proximal forearm during gripping tasks. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 13, 63-71.

Park, H.S., Martin, B.J., 1993. Contribution of the tonic vibration reflex to muscle stress and muscle fatigue. *Scand J Work Environ Health*, 19(1), 35-42.

Perotto, A., Delagi, E. F., Iazzetti, J., Morrison, D., 2005. *Anatomical Guide for the Electromyographer: The Limbs and Trunk*. Springfield, IL: Charles C Thomas Publisher Ltd. (Fourth Edition).

Radwin, R. G., Armstrong, T. J. and D. B. Chaffin, 1987. Power hand tool vibration effects on grip exertions, *Ergonomics*, 30(5), 833-855.

Westling, G., Johansson, R.S., 1984. Factors influencing the force control during precision grip. *Experimental Brain Research* 53, 277-284.

Wimer, B., Dong, R.B., Welcome, D.E., Warren, C., McDowell, T.W., 2009. Development of a new dynamometer for measuring grip strength applied on a cylindrical handle. *Medical Engineering & Physics* 31 (6), 695-704.

Wimer, B., McDowell, T.W., Xu, X.S., Welcome, D.E., Warren, C., Dong, R.G., 2010. Effects of gloves on the total grip strength applied to cylindrical handles. *International Journal of Industrial Ergonomics* 40 (5), 574-583.

Zipp, P., 1982. Recommendations for the standardization of lead positions in surface electromyography. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 50 (1), 41-54.

B.2 Artigo incluído no livro editado pela *CRC Press* (grupo *Taylor e Francis*) após o simpósio Internacional sobre Segurança e Higiene Ocupacionais - SHO 2013

The wrist vibrations measured with anti-vibration gloves in a simulated work task

José Miquel Cabeças

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Caparica, Portugal

Rui Messias

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Caparica, Portugal

Bernardo Roque

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Caparica, Portugal

Susana Batista

Cesnova, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal

ABSTRACT: The main objective of the research was to analyze the effectiveness of anti-vibration gloves in terms of the vibration level that reaches the wrist, during a simulated work task with a reciprocating saw. Operations were repeated with bare hand and with four different types of anti-vibration gloves. ISO 5349-1:2001 (r.m.s.) accelerations were measured with an accelerometer fixed in the wrist of the operators ($n=40$) and fixed in the handle of the tool. The main finding of the research was that anti-vibration gloves did not attenuate the total value of frequency un-weighted r.m.s. vibration components (one third octave band), measured in the wrist of the operators, in the dominant range in the wrist ~ 31.5 -200 Hz, neither in the whole one third octave band range. Also, non-significant differences in ISO-weighted total r.m.s values of a_{hv} measured in the wrist, were found between bare hand and gloved operations, during blade cutting operations.

1 INTRODUCTION

A reciprocating saw (sabre saw) is a type of saw in which the cutting action is achieved through a push and pulls reciprocating motion of the blade. Considering professional electrical sabre saw tools, typical working values vary between $\sim 1,000$ to $1,300$ watts, ~ 3.7 to 4.2 kg, vibration total values (a_h , triax vector sum) determined according to EN 60745 ~ 14.6 to 50.3 $m.s^{-2}$ (mean value of 30.6 $m.s^{-2}$; $n=23$ tools, right hand, according to C.D.C.).

1.1 *The transmissibility of vibrations from the handle of the tool to the arm of the operator*

Adewusi et al. (2011) considered that all of the reported data in their research showed rapid decrease in the vibration transmissibility of the hand-arm segments with increasing frequency and distance from the source of vibration. The vibration at frequencies below 100 Hz was transmitted to the forearm, and below 40 Hz was transmitted to the upper arm; vibration above 200 Hz was confined to the hand. Considering the bent-arm posture, an increase in the transmissibility (un-weighted acceleration values) was observed in the wrist to frequencies below ~ 60 -70 Hz and a decrease in the transmissibility between ~ 60 -70 Hz and ~ 200 Hz.

The vibration transmission to the finger-hand-arm system has been studied by different investigators (Dong et al. 2004). These studies found that vibration at frequencies below 40 Hz could be transmitted to the arms, shoulders and head, vibration at fre-

quencies above 100 Hz are limited to the hand and less than 10% of vibration at frequencies above 250 Hz may be transmitted to the wrist and beyond. A study developed by Xu et al. (2009), aimed to investigate the characteristics of the wrist and elbow vibrations transmitted from the handles of impact wrenches and their association with the ISO-weighted acceleration measured at the tools. The predominant components of the vibration measured at the wrist were between 20 and 200 Hz. To frequencies between ~ 10 Hz and ~ 40 -50 Hz it was observed wrist transmissibility > 1 . The authors stated that vibration exposure duration can be detected accurately and reliably using the on-the-wrist method with its advantages of posing the least interference with working tasks and avoiding the dc-shift problem.

1.2 *The effect of anti-vibration gloves in the transmissibility of vibrations*

According to Rakheja et al. (2002), the vibration isolation performance of a glove may depend upon the nature of tool vibration (magnitude and frequency range), visco-elastic properties of the glove material, arm posture, and magnitudes of hand-grip and feed forces. However, the term glove isolation effectiveness is used to indicate the extent to which a glove attenuates the effective vibration on a handle. It depends on the spectrum of vibration on the handle, the transmissibility of the glove (expressed as a function of frequency) and the frequency weighting (Griffin 1998). It is clear that the vibration isolation effec-

tiveness of the glove depends on not only the dynamic properties of a glove but also the biodynamic properties of the hand-arm system (Welcome et al. 2012). A study by Dong et al. (2005) reveals that there is a strong linear correlation between the isolation effectiveness of a typical anti-vibration glove and the biodynamic characteristics of the human hand-arm system in a broad frequency range (40–200 Hz).

Field measurements were carried out by Pinto et al. (2001) in different hand tools, during simulated work procedures in five samples of anti-vibration gloves. The authors concluded that laboratory tests on glove performance are valid only in work situations where the feed force and/or the shape of the spectrum is similar to that used in the laboratory tests. Griffin (1998) also stated that the test method ISO 10819:1996, cannot predict the vibration isolation performance of anti-vibration gloves when used with a specific tool, since the vibration spectra of various hand-held power tools differ considerably from those of the idealized M- and H-spectra. Welcome et al. (2012) also stated that the transmissibility measured with the standardized method may not represent the vibration isolation effectiveness of AV gloves used in some workplace environments, and laboratory-measured transmissibility should not be directly used to account for vibration reduction in risk assessments. Rakheja et al. (2002) concluded that both the grip and feed forces affect the frequency response characteristics of the gloves, specifically at frequencies above 250 Hz. However, the contributions due to variations in grip and feed forces may vanish when the frequency weighting (ISO-5349:1986) is applied.

Alternative methods to evaluate the vibration isolation effectiveness of anti-vibration gloves are reported in the literature. Rakheja et al. (2002), reports a methodology to estimate vibration isolation effectiveness of anti-vibration gloves. Griffin (1998) proposes that the glove isolation effectiveness may be calculated from the measured transmissibility of a glove, the vibration spectrum on the handle of a specific tool and the frequency weighting indicating the degree to which different frequencies of vibration cause injury. Hewitt (2010) implemented a triaxial investigation of the performance of a glove, by measuring the transmissibility of the glove in three axes, consecutively, using a shaker and an instrumented handle. Reynolds and Wolfe (2005) found that it is possible to replace the M and H spectra currently defined as inputs in ISO 10819 with a single F spectra. Welcome et al. (2012) proposed a revised version of the standard to improve the reliability of the anti-vibration (AV) glove test defined in the current standard.

In the present study, a reciprocating saw is operated in a simulated work task, with bare hand and four different anti-vibration gloves. The main purpose of the study is to evaluate the effectiveness of

anti-vibration gloves in the attenuation of total r.m.s. values of a_{hv} measured in the wrist of the operators.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 The equipment

The hand tools used in the research was a Bosch reciprocating saw GSA 1200 E professional sabre saw 220V, equipped with metal saw blade S1122BF (225 mm/ 9"), with a no-load stroke rate between 0 – 2,800 spm, 3.7 kg weight without cable, vibration total values (triax vector sum) determined according to EN 60745: $a_h=19 \text{ m.s}^{-2}$, uncertainty $K=5.5 \text{ m.s}^{-2}$ (cutting wood values). The tool was operated at maximum rate during the operations (2,800 spm). The sabre saw performed transversal cuts at a 20 mm diameter Mild Steel Round Bars.

Four types of anti-vibration gloves (meets ISO 10819: 1996) were used by the subjects in the research: (a) Type 1 glove, molded Gfom padding on the palm, fingers and thumb, 100% grain cowhide leather, sewn with Kevlar; (b) Type 2 glove, air glove, utilizing patented air technology in the palm, fingers and thumb, driver style cuff; (c) Type 3 glove, with polymer in the palm, the back of the glove covered by a tough, micro-injected dorsal shell, a woven elastic cuff features a rugged; (d) Type 4 glove, neoprene/leather/elastic cuff, incorporates patented polymer, pigskin leather palm and fingers, closure with woven elastic cuff

2.2 The subjects

Forty volunteer adult subjects participated in the study (Table 1). The maximum handgrip strength tests were performed with the participants seated, the forearm supported on a table with a 90° flexed elbow, exerting a power grip in a Hand Dynamometer (Lafayette Hand Dynamometer, model 78010, Lafayette Instrument Company, USA).

Table 1. Mean (SD) and range of age, anthropometrics and muscular strength for the subjects (n=40).

Demographic data	Mean (SD)	Range
Male subjects (n)	40	-----
Age (years)	24.6 (2.5)	19-33
Height (cm)	176.5 (5.4)	160-186
Weight (kg)	73.0 (7.4)	58-88
Right Handgrip strength (kg)	41.7 (8.9)	21.3-66.7

2.3 The vibrations measurement

The vibration transmitted to the hand-arm system was measured using a triaxial accelerometer (Model 3023A2, 10mV/g, 4 grams, Dytran Instruments, Inc.) and the signal recorded with a VI-410 PRO vibration analyzer, real-time frequency analysis (Quest Tech-

nologies), which complies with the specifications of the standards ISO 8041:2005, ISO 5349-1,2:2001, ISO 2631-1,2:2003, ISO 10816 and IEC 61672-1. Two groups of measurements were performed with the vibration meter: (a) with the accelerometer attached to the tools according to recommendations of ISO 5349-2:2001 and (b) with the accelerometer attached to the wrist of the subject's dominant arm by means of a special device fixed to the wrist.

The device was attached to the operator's wrist by means of a Velcro strip. Special care was taken in the pressure exerted by the strip in the wrist of the operator. The strip was tight enough to avoid undesirable movements of the accelerometer, allowing however for free flow of blood and assuring subjects comfort.

The acceleration frequency-weighted r.m.s. values of a_{hwx} , a_{hwy} , a_{hwz} and a_{hv} ($m.s^{-2}$) were recorded in the vibration meter during operations time. The log rate time was set to 1 s in order to analyze the variability of the results. Full octave band (1/1) frequency vibration spectrum (non-weighted) was recorded. The vibrations were measured in the dominant arm of the operator, the one operating the trigger of the tools. During operations time, the progress of the acceleration frequency-weighted r.m.s. values of a_{hwx} , a_{hwy} and a_{hwz} ($m.s^{-2}$) were carefully observed in the vibration meter. Stable values of r.m.s. acceleration were observed in the end of each measurement time.

2.4 Statistical analysis

The research design included the same subjects operating with the reciprocating sabre-saw in different conditions (bare hand and the four types of gloves). In order to compare the variability of a_{hv} measured in the handle of the hand tools or in the wrist of the operators, repeated measures ANOVA - which uses an F statistic to determine significance - were conducted.

In addition to the usual assumptions of these analysis (independence of observations and normality), repeated measures ANOVA implies sphericity. If this assumption was not met by Mauchly test, Greenhouse-Geisser (if epsilon < 0.75) or Huynh-Feldt (> 0.75) correction were considered to determine a more accurate p-value. Whenever significant differences were found, we used post-hoc comparisons using the Bonferroni correction to compare different pairs of variables.

When comparing globally handle and wrist measurements, two-sample independent t-test were conducted, since the subjects tested were not the same. All tests were conducted in SPSS - version 18.0 for Windows.

3 RESULTS

3.1 The variability of vibration total value of frequency-weighted r.m.s. acceleration

Forty operators performed operations with the sabre saw in simulated work tasks over a period of 20 s. The log rate time of the vibrations measurements was set to 1 s in order to analyze the variability of ISO-weighted total r.m.s. a_{hv} values ($CV (\%) = SD/a_{hv} \times 100$) during the operations. The variability was measured in the handle of the tool and in the wrist of the operators (Table 2).

Table 2. The variability of ISO-weighted total r.m.s. acceleration values measured in the handle of the sabre saw ($n=8$ subjects) and in the wrist of the operators ($n=32$ subjects) during simulated operations (log rate time= 1 s; 20 readings per subject)

	Handle measurement CV (%) Mean (Range)	Wrist measurement CV (%) Mean (Range)
Blade held off the material		
Bare hand, tool on	2.4 (0.7-4.6)	9.3 (2.1-20.0)
Blade cutting the material		
Bare hand	5.2 (1.2-10.8)	9.9 (3.5-25.7)
Type 1 glove	2.4 (1.2-4.6)	8.2 (3.3-17.1)
Type 2 glove	2.5 (0.7-6.0)	7.8 (3.8-14.8)
Type 3 glove	1.9 (0.8-3.2)	7.6 (3.4-16.8)
Type 4 glove	2.2 (0.8-5.2)	8.5 (1.9-16.3)

A repeated measures ANOVA was conducted to test if the six variables had the same mean. The test corrected with Greenhouse-Geisser delivered no significant difference between the six variables in the handle measurement ($F(1.478; 10.348) = 4.123$, $p=0.057$) and between the six variables in the wrist measurement ($F(3.208; 99.460) = 1.734$, $p=0.161$). The CV of the ISO-weighted total value r.m.s. acceleration measured in the handle of the tool and in the wrist of the operators, with the blade cutting the material are not significantly different from the values with the blade held off the material, which means that individual cutting operations didn't introduce a significant variability in the total value of frequency-weighted r.m.s. acceleration. However, comparing globally the variability of a_{hv} measured in the handle of the hand tools ($n=48$ readings) and in the wrist of the operators ($n=192$ readings) according to two-sample independent t-test, the variability of accelerations measured in the wrist is higher than in the handle of the tool ($t(145.686) = 14.102$, $p=0.000$). The transmission of vibration from the handle of the tool to the wrist of the operator is affected by different variables as the grip and push forces and the biodynamic response in the hand-arm system (Dong et al. 2004, 2004a, 2005, 2005a, Hartung et al. 1993, Griffin 1998, Griffin 2011, Marcotte et al. 2005,

Adewusi et al. 2011); most probably the variability increase of a_{hv} measurements in the wrist is a result of the variability in the different variables that affect the transmissibility to the wrist.

3.2 The vibration total value of frequency-weighted r.m.s. acceleration measured in the handle of the hand tool and in the wrist of the operators

Acceleration values a_{hv} were evaluated in the tool handle and in the wrist of the operators. Measures in the tool handle (Table 3) and in the wrist (Table 4) were taken with a log rate of 1 s, during operations time of 20 s. Mean and range values were calculated based on 20 readings per operation.

Table 3. The ISO-weighted total r.m.s. values of a_{hv} measured in the handle of the tools during simulated operations with the sabre saw (n=8 subjects; 20 s operation time)

	Handle measurement a_{hv} (m.s ⁻²) Mean (Range)
Blade held off the material	
Bare hand, tool on	17.94 (16.00-20.90)
Blade cutting the material	
Bare hand	19.91 (16.80-26.20)
Type 1 glove	18.29 (15.60-20.80)
Type 2 glove	17.05 (15.20-19.10)
Type 3 glove	18.06 (15.20-20.60)
Type 4 glove	17.78 (15.40-20.90)

Table 4. The ISO-weighted total r.m.s. values of a_{hv} measured in the wrist of the operators during simulated operations with the sabre saw (n=32 subjects; 20 s operation time)

	Wrist measurements a_{hv} (m.s ⁻²) Mean (Range)
Blade held off the material	
Bare hand, tool on	14.12 (7.71-23.00)
Blade cutting the material	
Bare hand	17.34 (6.94-33.10)
Type 1 glove	17.57 (7.05-29.00)
Type 2 glove	17.10 (6.19-27.00)
Type 3 glove	16.32 (8.69-25.70)
Type 4 glove	19.02 (7.12-31.70)

Comparing globally the ISO-weighted total r.m.s. values of a_{hv} measured in the handle of tool (n=48 readings) and in the wrist of the operators (n=192 readings), according to two-sample independent t-test, the acceleration measured in the handle of the tool is ~7.5 % higher than in the wrist of the operator (t(145,686)= 14,102, p=0.000). To each operating conditions, according to two-sample independent t-

test, non-significant differences (p>0.05) were found between ISO-weighted total r.m.s. values of a_{hv} in the handle of the tool and in the wrist of the operators (exception to the operating condition “bare hand, tool on” in which the accelerations measured in the handle of the tool was higher than in the wrist of the operator (t(31,745)= 4,138, p=0.000)).

4 DISCUSSION

The accelerations measured at the tool handle and at the wrist of the operators were not simultaneous. Hewitt (2010) considers important to measure the vibration simultaneously at the surface of the handle or surface imparting the vibration and between the hand and glove *i.e.* inside the glove, to assess the transmissibility of an anti-vibration glove. Regarding measurements in the hand-arm system, simultaneous measurements were applied in their research by Adewusi et al. (2011) and Xu et al. (2009). In this research, the CV of the ISO-weighted total value r.m.s. acceleration measured in the handle of the tool and in the wrist of the operators, with the blade cutting the material, were not significantly different from the values with the blade held off the material, which means that individual cutting operations didn't introduce a significant variability in the total value of frequency-weighted r.m.s. acceleration.

The variability of ISO-weighted total r.m.s. values of a_{hv} measured in the wrist of the operators was higher than in the handle of the tool (t(145,686)= 14.102, p=0.000). The transmission of vibration from the handle of the tool to the wrist of the operator is affected by different variables as the grip and push forces and the biodynamic response in the hand-arm system (Dong et al. 2004, 2004a, 2005, 2005a, Hartung et al. 1993, Griffin 1998, Griffin 2011, Marcotte et al. 2005, Adewusi et al. 2011); most probably the variability increase of a_{hv} measurements in the wrist is a result of the variability in the different variables that affect the transmissibility to the wrist.

Comparing globally the ISO-weighted total r.m.s. values of a_{hv} , measured in the handle of the tool (n=48 readings) and in the wrist of the operators (n=192 readings), the acceleration measured in the handle of the tool was ~7.5 % higher than in the wrist of the operator (p=0.001). However, when comparing specific operating condition, non-significant differences were found between ISO-weighted total r.m.s. a_{hv} values in the handle of the tool and in the wrist of the operators.

For the Sabre saw, and for the type of operation performed with the tool in this research, the dominant vibration frequency was in the 250-315 Hz range and in the 40-50 Hz range (one third octave band). With bare hand, a substantial reduction in the vibration total value of frequency-un-weighted r.m.s. components (one third octave band) above 160-200

Hz was observed in the wrist measurements; a similar reduction was not observed in the peak acceleration values at 40-50 Hz measured in the handle of the tool and in the wrist. The rapid decrease in the vibration transmissibility of the hand-arm segments above 200 Hz may be related to the increasing distance from the source of vibration. As stated by different authors, the frequency attenuation in the wrist is particularly visible in the vibration components above 200 Hz (Adewusi et al. 2011, Xu et al. 2009, Dong et al. 2004).

Non-significant differences ($p > 0.05$) in ISO-weighted total r.m.s values of a_{hv} measured in the wrist, were found between bare hand and gloved operations, during blade cutting operations. Globally, ~50% of the operators, revealed gloved a_{hv} values in the wrist higher than bare hand a_{hv} values; only in 25% of the operators ($n=32$) bare hand a_{hv} values were consistently higher than gloved values.

5 CONCLUSION

The anti-vibration gloves did not attenuate the total value of frequency un-weighted r.m.s. vibration components (one third octave band), measured in the wrist of the operators. The wrist measurements with bare hand and with anti-vibration gloves did not reveal significant differences in the vibration components in the dominant range in the wrist ~31.5-200 Hz, neither in the whole one third octave band range. Also, non-significant differences in ISO-weighted total r.m.s values of a_{hv} measured in the wrist, were found between bare hand and gloved operations, during blade cutting operations.

6 REFERENCES

- Adewusi, S.A., Rakheja, S., Marcotte, P. & Boutin, J. 2011. Vibration transmissibility characteristics of the human hand-arm system under different postures, hand forces and excitation levels. *Journal of Sound and Vibration* 329: 2953-2971.
- C.D.C. - Centers for Disease Control and Prevention. *PowerTools Database: Reciprocating Saw*. Available at <http://wwwn.cdc.gov/niosh-sound-vibration/> (April 4, 2012).
- Dong, R.G., Schopper, A.W., McDowell, T.W., Welcome, D.E., Wu, J.Z., Smutz, W.P., Warren, C. & Rakheja, S. 2004. Vibration energy absorption (VEA) in human fingers-hand-arm system. *Medical Engineering & Physics* 26: 483-492.
- Dong, R.G., McDowell, T.W., Welcome, D., Barkley, J., Warren, C. & Washington B. 2004a. Effects of Hand-Tool Coupling Conditions on the Isolation Effectiveness of Air Bladder Anti-Vibrations Gloves. *Low Frequency Noise, Vibration and Active Control* 23(4): 231-248.
- Dong, R.G., Wu, J.Z. & Welcome, D.E. 2005. Recent advances in biodynamics of human hand-arm system. *Industrial Health* 43(3): 449-71.
- Dong, R.G., McDowell, T.W., Welcome, D.E. & Smutz, W.P. 2005a. Correlations between biodynamic characteristics of human-arm system and the isolation effectiveness of anti-vibration gloves. *International Journal of Industrial Ergonomics* 35: 205-216.
- Griffin, M.J. 1998. Evaluating the effectiveness of gloves in reducing the hazards of hand-transmitted vibration. *Occupational and Environmental Medicine* 55: 340-348.
- Hartung, E., Dupuis, H. & Scheffer, M. 1993. Effects of grip and push forces on the acute response of the hand-arm system under vibrating conditions. *Occupational and Environmental Health* 64(6): 463-467.
- Hewitt, S. 2010. RR795-Triaxial measurements of the performance of anti-vibration gloves. *Health and Safety Executive (HSE)*.
- Marcotte, P., Aldien, Y., Boileau, P.-É., Rakheja, S. & Boutin, J. 2005. Effect of handle size and hand-handle contact force on the biodynamic response of the hand-arm system under z_h -axis vibration. *Journal of Sound and Vibration* 283 (3-5): 1071-1091.
- Pinto, I., Stacchini, N., Bovenzi, M., Paddan, G.S. & Griffin, M.J. 2001. Protection effectiveness of anti-vibration gloves: field evaluation and laboratory performance assessment, in: *9th International Conference on Hand-Arm Vibration, Nancy, France, 05 - 08 Jun 2001*.
- Rakheja, S., Dong, R., Welcome, D. & Schopper, A.W. 2002. Estimation of tool-specific isolation performance of antivibration gloves. *International Journal of Industrial Ergonomics* 30: 71-87.
- Reynolds, D.D. & Wolfe, E. 2005. Evaluation of Antivibration Glove Test Protocols Associated with the Revision of ISO 10819. *Industrial Health* 43: 556-565.
- Welcome, D.E., Dong, R.G., Xu, X.S., Warren, C. & McDowell, T.W. 2012. An evaluation of the proposed revision of the anti-vibration glove test method defined in ISO 10819. *International Journal of Industrial Ergonomics* 42: 143-155.
- Xu, X.S., Welcome, D.E., McDowell, T.W., Warren, C. & Dong, R.G. 2009. An investigation on characteristics of the vibration transmitted to wrist and elbow in the operation of impact wrenches. *International Journal of Industrial Ergonomics* 39: 174-184.

B.3 Artigo incluído no livro *Proceedings from International Symposium on Occupational Safety and Hygiene SHO2013* (64-66). Guimarães: Portuguese Society of Occupational Safety and Hygiene (SPOSHO). (ISBN 978-972-99504-9-0)



ISSN 2182-8482

SHO2013

February 2013
Guimarães - Portugal

organisation



Universidade da Minho

FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

co-organisers

Faculdade de
Medicina HumanaUNIVERSITAT
POLITÈCNICA DE
CATALUNYA

This edition is published by the Portuguese Society of Occupational Safety and Hygiene - SPOSHO, 2013.

Portuguese National Library Cataloguing in Publication Data

Proceedings book of the International Symposium on Occupational Safety and Hygiene - SHO2013
edited by Arezes, P., Baptista, J.S., Barroso, M.P., Carneiro, P., Cordeiro, P., Costa, N., Melo, R., Miguel, A.S., Perestrelo, G.
Includes biographical references and index.
ISSN 2182-8482
1. Safety. 2. Hygiene. 3. Industrial. 4. Ergonomics. 5. Occupational.
Publisher: Sociedade Portuguesa de Segurança e Higiene Ocupacionais (SPOSHO)
Occupational Safety Hygiene SHO Series
Book in 1 volume, 468 pages

This book contains information obtained from authentic sources.

Reasonable efforts have been made to publish reliable data information, but the authors, as well as the publisher, cannot assume responsibility for the validity of all materials or for the consequences of their use.

Neither this book nor any part may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or physical, including photocopying, microfilming, and recording, or by any information storage or retrieval system, without prior permission in writing from the SPOSHO Direction Board.

All rights reserved. Authorization to photocopy items for internal or personal use may be granted by SPOSHO.

Trademark Notice: Product or corporate names may be trademarks or registered trademarks, and are used only for identification and explanation, without intent to infringe.

SPOSHO

DPS, Campus de Azurém

4800 – 058 Guimarães, Portugal

Visit SPOSHO website at: <http://www.sposho.pt>

© 2013 by SPOSHO

ISSN 2182-8482



The wrist vibrations measured with anti-vibration gloves in a simulated work task

José Miquel Cabeças¹; Rui Messias¹; Bernardo Roque¹; Susana Batista¹
¹ Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Portugal

1. INTRODUCTION

A reciprocating saw (sabre saw) is a type of saw in which the cutting action is achieved through a push and pulls reciprocating motion of the blade. Considering professional electrical sabre saw tools, typical working values vary between ~9 to 12 Amp, ~1,000 to 1,300 watts, ~3.7 to 4.2 kg, vibration total values (a_{hv} , triax vector sum) determined according to EN 60745 ~14.6 to 50.3 m/s^2 (mean value of 30.6 m/s^2 ; $n=23$ tools, right hand, according to C.D.C.). During the use of the saw, in addition to the vibration exposure, workers may experience high arm and shoulder muscle loading, as a consequence of the force exerted to control the position and the reciprocating motion of the tool and the increased muscles activity that results from the vibration in its tendon. The vibration measured in the handle of the tool and transmitted to the wrist of 40 subjects was evaluated in this research.

2. MATERIALS AND METHOD

The hand tools used in the research was a Bosch reciprocating saw GSA 1200 E professional sabre saw 220V, equipped with metal saw blade S1122BF (225 mm/ 9"), with a no-load stroke rate between 0 – 2,800 spm, 3.7 kg weight without cable, vibration total values (triax vector sum) determined according to EN 60745: $a_h=19 m/s^2$, uncertainty $K=5.5 m/s^2$ (cutting wood values). The tool was operated at maximum rate during the operations (2,800 spm).

The sabre saw performed transversal cuts at a 20 mm diameter Mild Steel Round Bars.

Four types of anti-vibration gloves (meets ISO 10819: 1996) were used by the subjects in the research: (a) Type 1 glove, molded Gfom padding on the palm, fingers and thumb, 100% grain cowhide leather, sewn with Kevlar; (b) Type 2 glove, anti-vibration Air Glove, full finger all leather style, utilizing patented air technology in the palm, fingers and thumb, driver style cuff; (c) Type 3 glove, with polymer in the palm, the palm and palm-side fingers made of abrasion-resistant material, the backs of the fingers and thumb made of breathable stretch spandex, the back of the glove covered by a tough, micro-injected dorsal shell, a woven elastic cuff features a rugged; (d) Type 4 glove, neoprene/leather/elastic cuff, incorporates patented polymer, pigskin leather palm and fingers, neoprene knuckle pad, closure with woven elastic cuff.

Forty volunteer adult male subjects participated in the study with mean age (years) of 24.6 (SD= 2.5) and mean handgrip strength – right hand (kg) of 41.7 (SD= 8.9).

The vibration transmitted to the hand-arm system was measured using a triaxial accelerometer (Model 3023A2, 10mV/g, 4 grams, Dytran Instruments, Inc.) and the signal recorded with a VI-410 PRO vibration analyzer, real-time frequency analysis (Quest Technologies), which complies with the specifications of the standards ISO 8041:2005, ISO 5349-1,2:2001, ISO 2631-1,2:2003, ISO 10816 and IEC 61672-1. Two groups of measurements were performed with the vibration meter: (a) with the accelerometer attached to the tools according to recommendations of ISO 5349-2:2001 and (b) with the accelerometer attached to the wrist of the subject's dominant arm by means of a special device fixed to the wrist. The device was attached to the operator's wrist by means of a Velcro strip. Special care was taken in the pressure exerted by the strip in the wrist of the operator. The strip was tight enough to avoid undesirable movements of the accelerometer, allowing however for free flow of blood and assuring subjects comfort. The acceleration frequency-weighted r.m.s. values of a_{hwz} , a_{hwy} , a_{hwz} and a_{hv} (m/s^2) were recorded in the vibration meter during operations time. The log rate time was set to 1 s in order to analyze the variability of the results. Full octave band (1/1) frequency vibration spectrum (non-weighted) was recorded. The vibrations were measured in the dominant arm of the operator, the one operating the trigger of the tools. During operations time, the progress of the acceleration frequency-weighted r.m.s. values of a_{hwz} , a_{hwy} and a_{hwz} (m/s^2) were carefully observed in the vibration meter. Stable values of r.m.s. acceleration were observed in the end of each measurement time.

The hand-tool operations were performed during simulated work tasks. The subjects were instructed to make a vertical cut with the sabre saw over a period of up to 20 seconds continuously, in a 20 mm diameter mild steel round bar, without removing the tool from the bar. The operations were repeated by each subject with bare hand, and with the four types of anti-vibration gloves. The operators were instructed to perform the operations continuously, with a uniform forward speed and forward force applied in the blade, without removing the tool from the material, with the hand operating at the elbow level, gripping the tools as lightly as possible. Prior to data collection, the subjects received training in handling the sabre saw.

Repeated measures ANOVA - which uses an F statistic to determine significance - were conducted. In addition to the usual assumptions of these analysis (independence of observations and normality), repeated measures ANOVA implies sphericity. If this assumption was not met by Mauchly test, Greenhouse-Geisser (if epsilon <0.75) or Huynh-Feldt (>0.75) correction were considered to determine a more accurate p-value. Whenever significant differences were found, we used post-hoc comparisons using the Bonferri correction to compare different pairs of variables.

When comparing globally handle and wrist measurements, two-sample independent t-test were conducted, since the subjects tested were not the same. All tests were conducted in SPSS – version 18.0 for Windows.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The main finding of the research was that anti-vibration gloves did not attenuate the total value of frequency un-weighted r.m.s. vibration components (one third octave band), measured in the wrist of the operators. The wrist measurements with bare hand and with anti-vibration gloves didn't reveal significant differences in the vibration components in the dominant range in the wrist ~31.5-200 Hz, neither in the whole one third octave band ranges.

Also, non-significant differences in ISO-weighted total r.m.s values of a_{hv} measured in the wrist, were found between bare hand and gloved operations, during blade cutting operations. However with Type 4 glove a non-significant increase in vibration (~10%) was observed relatively to bare hand operations. Globally, ~50% of the operators revealed gloved a_{hv} values in the wrist higher than bare hand a_{hv} values; only in 25% of the operators ($n=32$) bare hand a_{hv} values were consistently higher than gloved values. These results show that anti-vibration gloves did not reduce the ISO-weighted total r.m.s. values of a_{hv} measured in the wrist of the operators during simulated operations with the sabre saw.

Comparing globally the ISO-weighted total r.m.s values of a_{hv} measured in the handle of tool ($n=48$ readings) and in the wrist of the operators ($n=192$ readings), according to two-sample independent t-test, the acceleration measured in the handle of the tool is ~7.5 % higher than in the wrist of the operator ($t(145,686)= 14,102, p=0.000$). To each operating conditions, according to two-sample independent t-test, non-significant differences ($p>0.05$) were found between ISO-weighted total r.m.s values of a_{hv} in the handle of the tool and in the wrist of the operators.

Other conclusions that resulted from the current study were as follows: (a) The use of anti-vibration gloves may affect the ISO-weighted total r.m.s values of a_{hv} measured in the handle of the tool; the total value of frequency-weighted r.m.s. acceleration measured in handle of the tool is particularly sensitive to the use of anti-vibration gloves. It was found in 6 subjects ($n=8$) higher handle a_{hv} values in bare hand operations than in gloved hand operations (~3% increase); (b) with bare hand, a substantial reduction in the vibration total value of frequency un-weighted r.m.s. components above 160-200 Hz was observed in the wrist measurements.

4. CONCLUSIONS

The anti-vibration gloves did not attenuate the total value of frequency un-weighted r.m.s. vibration components (one third octave band), measured in the wrist of the operators. The wrist measurements with bare hand and with anti-vibration gloves did not reveal significant differences in the vibration components in the dominant range in the wrist ~31.5-200 Hz, neither in the whole one third octave band range. Also, non-significant differences in ISO-weighted total r.m.s values of a_{hv} measured in the wrist, were found between bare hand and gloved operations, during blade cutting operations.

With bare hand, a substantial reduction in the vibration total value of frequency-unweighted r.m.s. components (one third octave band) above 160-200 Hz was observed in the wrist measurements; this finding is consistent with the statement of different authors (Adewusi et al., 2011; Xu et al., 2009; Dong et al., 2004).

Authors like Pinto et al. (2001) and Welcome et al. (2012) referred the transmissibility measured with standardized method, and the isolation effectiveness of AV gloves used in some workplace environments. This research emphasizes the need to complement the results from laboratory controlled methods and from standardized methods with the results from simulated or effective work tasks.

Adamo et al. (2002) studied the influence of vibration in the sustained grip exertion in the FDS muscle fatigue. Wrist vibrations increase the co-contraction of the forearm muscles involved in the wrist stabilization contributing to increased fatigue. More research is needed in order to analyze the potential of the wrist vibration measurement in the risk evaluation to forearm musculoskeletal disorders. The development of anti-vibration gloves with the capability to attenuate wrist vibrations could have a significant impact in the reduction of forearm muscle fatigue.

5. REFERENCES

- Adamo, D.E., Martin, B.J., Johnson, P.W. (2002). Vibration-induced muscle fatigue, a possible contribution to musculoskeletal injury. *Eur J Appl Physiol*, 88, 134-140.
- Adewusi, S.A., Rakheja, S., Marcotte, P., Boutin, J. (2011). Vibration transmissibility characteristics of the human hand-arm system under different postures, hand forces and excitation levels. *Journal of Sound and Vibration*, 329, 2953-2971.
- C.D.C. - Centers for Disease Control and Prevention. PowerTools Database: Reciprocating Saw. Available at <http://wwwn.cdc.gov/niosh-sound-vibration/> (April 4, 2012).
- Dong, R.G., Schopper, A.W., McDowell, T.W., Welcome, D.E., Wu, J.Z., Smutz, W.P., Warren, C., Rakheja, S. (2004). Vibration energy absorption (VEA) in human fingers-hand-arm system. *Medical Engineering & Physics* 26, 483-492.
- Pinto, I., Stacchini, N., Bovenzi, M., Paddan, G.S. and Griffin, M.J. (2001). Protection effectiveness of anti-vibration gloves: field evaluation and laboratory performance assessment, in: 9th International Conference on Hand-Arm Vibration, Nancy, France, 05 - 08 Jun 2001. France, 11pp.
- Welcome, D.E., Dong, R.G., Xu, X.S., Warren, C., McDowell, T.W. (2012). An evaluation of the proposed revision of the anti-vibration glove test method defined in ISO 10819. *International Journal of Industrial Ergonomics* 42, 143-155.
- Xu, X.S., Welcome, D.E., McDowell, T.W., Warren, C., Dong, R.G. (2009). An investigation on characteristics of the vibration transmitted to wrist and elbow in the operation of impact wrenches. *International Journal of Industrial Ergonomics* 39, 174-184.

Apêndice C

Formulário de caracterização do operador/Meio envolvente

Caracterização do operador / Meio envolvente

Dados Técnicos		
Ficheiro Quest: _____	Ficheiro Maestro: _____	Local: _____
Data (dia/mês/ano) ____/____/2011	Hora do registo (hh:mm) ____:____	
Temperatura (°C): _____	Humidade relativa(%): _____	Técnico: _____

Dados Pessoais do Operador	
Nome: _____	
Data de Nascimento (dia/mês/ano): ____/____/19____	Género: M <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/>
Mão dominante: ESQ <input type="checkbox"/> DTA <input type="checkbox"/> Ambas <input type="checkbox"/>	
Altura (cm): _____	Peso (Kg): _____
Telemóvel: _____	Email: _____
Actividades nos últimos 5 anos:	
• Actividade: _____	Duração: _____ anos
• Actividade: _____	Duração: _____ anos
• Actividade: _____	Duração: _____ anos
• Actividade: _____	Duração: _____ anos
• Actividade: _____	Duração: _____ anos
Alguma vez trabalhou com ferramentas vibratórias de construção? Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>	
Se respondeu sim: Durante quanto tempo? _____ meses _____ horas/dia	

Historial Clínico
Sofreu alguma lesão no braço dominante? Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
Se respondeu sim: Em que ano? _____ Qual foi a lesão? _____
Desde Janeiro de 2009 foi a alguma consulta médica devido a problemas músculo-esqueléticos, neurológicos ou vasculares? Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
Se respondeu sim: Que problemas eram e que regiões eram afectadas? _____